

Petteri Peuronen

Puurakenteisen rivitalon runkotyön vakiointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri
Rakennustekniikka
Opinnäytetyö
28.4.2011



ALKULAUSE

Tämä insinöörityö tehtiin NCC Rakennus Oy:n asuntorakentamisen yksikölle. Tahdon kiittää kaikkia työssä mukana olleita, erityisesti työn ohjaajia rakennuspäällikkö Ilkka Leskelää ja laboratorioinsinööri Matti Leppää.

Helsingissä 27.04.2011

Petteri Peuronen

Tekijä(t) Otsikko	Petteri Peuronen Puurakenteisen rivitalon runkotyön vakiointi
Sivumäärä Aika	62 sivua + 13 liitettä 28.04.2011
Tutkinto	Insinööri (Amk)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Rakennustuotantotekniikka
Ohjaaja(t)	Rakennuspäällikkö Ilkka Leskelä Laboratorioinsinööri Matti Leppä
<p>Tämä opinnäytetyö tehtiin NCC Rakennus Oy:n asuntorakentamisen yksikölle. Työssä selvitettiin puurakenteisen rivitalokohteen runkotyön eri vaiheiden suorittamista. Tavoitteena oli luoda työohjeet runkotyön tärkeimmistä vaiheista ja kiinnittää huomiota erityisesti työohjeiden soveltuvuuteen työmaan käytössä. Sekä rakenteiden tiiveys että rakentamisen laatu olivat myös tärkeimpiä huomioitavia asioita.</p> <p>Työ aloitettiin keräämällä kirjallisuuden sekä haastatteluiden pohjalta tietoa puurakentamisen runkovaiheista. Työn teoriaosuudessa käydään läpi yleisesti puurakentamiseen liittyvät runkotyöt sekä NCC:lle laadittujen työohjeiden sekä toimintamallin kehittyminen alkuvaiheesta valmiiseen tulokseen. Kohteen suunnitelmia tutkimalla valittiin rakenteet, joista työohjeet tehdään. Tehtäviksi työohjeiksi muodostui neljä rakennekohtaa ja kolme rakenteiden liitoskohtaa. Rakennekodat ovat runkoelementit, väliseinärakenteet, vesikattorakenteet, välipohjarakenteet sekä rakenteiden liittymät. Yhteistyössä esimerkkikohteen työnjohdon kanssa koottiin ensimmäiset versiot työohjeista. Työohjeita päivitettiin ja parannettiin tiedon karttuessa.</p> <p>Työn lopputuloksena syntyi kokonaisvaltaiset työohjeet rivitalon runkotyön eri vaiheista. Työohjeissa esitetään kunkin työvaiheen rakennekuva, työvaiheet kohta kohdalta läpi käytävä lista, sekä taulukko tarkastuksista ja virhemerkinnöistä. Työohjeet toimivat työnjohdon ja työntekijöiden opasteena käytäessä läpi uutta työvaihetta. Lopuksi työohjeet koottiin yhteen toimintamalliin, josta käy ilmi kaikki runkotyön vaiheet. Työohjeista muodostui selkeä toimiva kokonaisuus ja ne sopivat hyvin työmaan tarpeisiin.</p>	
Avainsanat	Runkotyö, työohje, rivitalo, rakenne, toimintamalli.

Author(s) Title	Petteri Peuronen Standardization of Wooden Framework in a Terraced House
Number of Pages Date	62 pages + 13 appendices 28.04.2011
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Construction and Site Management
Instructor(s)	Ilkka Leskelä, Construction Manager Matti Leppä, Laboratory Engineer
<p>This thesis was made for the unit of residential construction of NCC Construction Ltd. The study examined the different construction stages of the timber frame in a terraced house. The aim was to create framework instructions the most important stages, paying particular attention to the suitability of the instructions at a construction site. Both quality of the construction and tightness of the structures were also major issues to be observed.</p> <p>The study was started by examining literature and conducting interviews to determine the different stages of timber framework construction. The theoretical part describes framework stages in wood construction in general, as well as work instruction created for NCC and development of the working pattern from the early stage to the finished result. Plans were selected by examining the structures, for which work instructions were to be made. Work instructions consisted of four tasks for structures and three for jointing points of structures. Tasks for structures are structural elements, wall construction, roof structures, floor structures and jointing points of these structures. In cooperation with the management of the construction target, first versions of the instructions were created. The work instructions were updated and improved as more knowledge was accumulated.</p> <p>As a final result, comprehensive work instructions were compiled for the different construction stages of the framework in a terraced house. The work instructions outline the structure illustration for each stage, checklist for each stage, and a table for inspections and error notes. The work instructions will assist workers and management to implement each new work stage. Finally, the work instructions were gathered in a working pattern, showing all phases in the frame construction. The work instructions formed a clear functional entity and they are well suited to the needs of the site.</p>	
Keywords	Framework, work instructions, townhouse, structure, working pattern.

Sisällys

Alkulause

Tiivistelmä

Abstract

1	Johdanto	1
1.1	Tausta	1
1.2	Tavoite	3
1.3	Tutkimusongelma	3
1.4	Tutkimusmenetelmät	4
2	Rivitalon puurunkotyö	4
2.1	Runkorakenteet	4
2.1.1	Perinteinen menetelmä	5
2.1.2	Pre-cut-järjestelmä	8
2.1.3	Platform-rakennusjärjestelmä	10
2.1.4	Suurelementtijärjestelmä	12
2.2	Maanvarainen alapohja	14
2.3	Väliseinät	16
2.4	Välipohja	18
2.5	Yläpohja	20
2.6	Vesikattorakenteet	22
2.7	Rakennusosien nostotyöt	26
2.8	Eristeet	27
2.8.1	Mineraalivilla eli lasi- ja kivivilla	27
2.8.2	Selluvilla eli puukuituvilla	29
2.9	Höyryn ja ilmansulku	30
2.10	Puurakenteiden liitokset	33
2.11	Yhteenveto	36
3	Rivitalon runkotyön toteutusmalli	38
3.1	Työsuunnittelun mallin kehitys	38
3.2	Mallin toteutus	38
3.3	Toteutetut työvaiheet	41

3.3.1	Rakenteet	41
3.3.2	Liitokset	48
3.4	Toimintamalli	52
3.5	Yhteenvedo	54
4	Työohjeiden testaus	55
4.1	Kohteen esittely	55
4.2	Testauksen menetelmät	58
5	Tutkimustulos	59
	Lähteet	61
	Liitteet	

Liite 1. Esimerkkikohteen yläpohjan rakennetyyppikuva

Liite 2. Esimerkkikohteen ulkoseinän rakennetyyppikuva

Liite 3. Esimerkkikohteen väliseinän rakennetyyppikuva

Liite 4. Esimerkkikohteen väliseinän rakennetyyppikuva

Liite 5. Esimerkkikohteen runkoseinäelementin rakennetyyppikuva

Liite 6. TYÖOHJE - RUNKOSEINÄELEMENTIT

Liite 7. TYÖOHJE - VÄLIPOHJA

Liite 8. TYÖOHJE - VÄLISEINÄT

Liite 9. TYÖOHJE - VESIKATTORAKENTEET

Liite 10. TYÖOHJE - RUNKOSEINÄELEMENTIN JA SOKKELIN LIITOS

Liite 11. TYÖOHJE - VÄLISEINÄELEMENTIN JA SOKKELIN LIITOS

Liite 12. TYÖOHJE - ULKOSEINÄN JA VÄLISEINÄN LIITOS

Liite 13. PROSESSIKAAVIO

1 Johdanto

1.1 Tausta

Yksi rakennushankkeen tärkeimpiä onnistumisen kriteerejä on hyvä tuotannon suunnittelutyö. Hyvän suunnittelutyön kautta työvaiheet pystytään suorittamaan tehokkaasti kustannusten, ajankäytön sekä laadun kannalta. Työvaiheet pystytään ennakoimaan tarkemmin, töiden johtaminen helpottuu sekä töiden laatu on parempaa. Töiden ennakosuunnittelu rakennusalalla lisääntyy jatkuvasti ja tuotannon tehokkuus kasvaa.

Aikaisemmin rakentamisessa suurin huomio on kohdistunut kustannuksiin, mutta nyt yhä tiukkenevat lain asettamat määräykset vaativat rakentamisen laadulta paljon. Haaste nykypäivänä on rakentaa mahdollisimman kustannustehokkaasti laadusta tinkimättä. Vuonna 2010 voimaan tulleet energiamääräykset tekivät rakentamisen toteutuksesta entistä vaativampaa. Lisääntyneet eristepaksuudet ja tiiveysvaatimukset pakottivat suunnittelemaan rakentamista yhä tarkemmin.

Pienkohteiden saaminen tuottavaksi ja kannattavaksi on rakennusliikkeille suuri haaste. Rakennustyö tulee olla suunnitteluvaiheessa saatettu siihen pisteeseen, että ratkaisut ovat työmaalla järkevästi toteutettavissa. Kannattavuus syntyy monen pienen tekijän summana, jotka yhdessä määrittävät hankkeen onnistumisen. Valmiita suunnitelmia ei työmaalla pystytä juurikaan muuttamaan, vaan tärkeimmät valinnat ja päätökset on tehty jo suunnittelupöydällä. Kokemus edellisten kohteiden rakenneratkaisuista tulisi pystyä siirtämään eteenpäin niin, että samoja virheitä ei toisteta. Liian usein virheet korjataan ilman, että tietoa virheellisistä ratkaisuista saataisiin siirrettyä eteenpäin.

Opinnäytetyö tehdään NCC Rakennus Oy:n asuntorakentamisen PKS-yksikölle, joka haluaa tehostaa ja kehittää puurakenteisen rivitalon runkotyötä koskevia menetelmiä, kiinnittäen erityisesti huomiota laadunvarmistukseen sekä työn suorituksen tehokkuuteen. Työn teoriaosuudessa käydään läpi yleisesti puurakentamiseen liittyvät runkotyöt sekä NCC:lle laadittujen työohjeiden sekä prosessikaavion kehittyminen alkuvaiheesta valmiiseen tulokseen. Lopussa pohditaan tutkimustuloksia ja työn tuloksena syntyneiden tuotannonohjeiden kehitysmahdollisuuksia.

1.2 Tavoite

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on luoda NCC Rakennus Oy:lle kaksikerroksiseen puurakenteiseen rivitalokohteeseen työohjeet runkotyön eri vaiheista. Työohjeet yhdistetään yhdeksi kokonaisuudeksi prosessikaavioon, joka käsittää koko runkotyön alusta loppuun. Prosessikaaviosta selviää runkotyön kokonaisuus ja sen tarkoitus on olla helppolukuinen ohje työmaan käyttöön. Työohjeet tulevat olemaan kaikenkattavia ja niiden tarkoitus on käydä kohta kohdalta läpi tietyn työkokonaisuuden vaiheet. Jokaisessa työohjeessa tulee olemaan yksityiskohtainen tehtäväluettelo, käytettävät materiaalit sekä kuvat jokaisesta työvaiheesta. Aluksi kuvat voivat olla esimerkiksi rakennekuvia, paras mahdollinen vaihtoehto voisi olla paikanpäällä otettu kuva kustakin työvaiheesta. Työohjeet pyritään saattamaan sellaiseen muotoon, että niitä olisi mahdollisimman helppo käyttää käytännön toteutuksessa sekä muissa samankaltaisissa kohteissa. Ohjetta noudattamalla kukin työvaihe pitäisi pystyä suorittamaan laadukkaammin ja varmemmin. Valmiita työohjeita voidaan käyttää työntekijöiden perehdytyksessä, jolloin tulevasta työstä saadaan hyvin tarkka kuva.

Puurunkoisen rivitalon runkotyön tärkeimmiksi ja tässä työssä tutkittaviksi työvaiheiksi voidaan erotella:

- Runkoelementit
- Väliseinärakenteet
- Vesikattorakenteet / Yläpohja
- Välipohjarakenteet
- Rakenteiden liittymät

Työohjeet toimivat myös uusien työnjohtajien ja työntekijöiden opastuksessa kyseisistä työvaiheista. Vähän kokemusta omaaville rakentajille työohjeet tarjoavat kattavan selityksen jokaisen työvaiheen suorittamisesta. Tässä työssä luotavan kokonaisuuden avulla puurakentamisen työsuoritukset avataan yksityiskohtaiseksi luetteloksi, joista jokaisesta työvaiheesta saa erittäin laajan käsityksen.

1.3 Tutkimusongelma

Vastaavanlaisia jokaiseen työvaiheeseen kohta kohdalta kantaa ottavia ohjeita ei vielä ole. Tutkimuksen kohteena olevan rivitalon runkotyöt toteutetaan pääosin paikallarakentamalla, mutta käyttämällä hyväksi elementtirakentamisen periaatetta. Tämän tyylinen puurakentaminen on haastavaa ja työn suunnittelu on avainasemassa. Töiden suunnittelu rakennuslalla on lisääntynyt, mutta suunnittelun tehokas vieminen käytäntöön on vielä pahasti kesken. Vanhoja malleja käytetään toistuvasti ja uuden tiedon käyttöön ottaminen on osittain vielä vaikeaa. Työohjeiden tulee olla sellaiset, että niistä todellakin on hyötyä käytännön toteutuksessa, eivätkä ne ole vain lisää turhaa paperityötä.

Haasteena on saattaa työohjeet helppolukaiseen ja ymmärrettävään muotoon, mutta niin, että ne samalla ovat riittävän tarkat. Yhdessä työnjohdon ja työntekijöiden kanssa kehitetyt työohjeet ovat erittäin käytännöllinen työkalu työsuoritusten käytännön ymmärtämiseen.

1.4 Tutkimusmenetelmät

Ennakkotutkimuksessa kerätään tietoa yleisistä rakentamisen tietokannoista, muista rakentamiseen liittyvistä julkaisuista sekä tilaajayrityksen omista tietokannoista. Tietoa kerätään asiantuntijahaastattelujen sekä kehitystyön kautta. Työn aikana on tarkoitus haastatella useita asiantuntijoita tuotanto- sekä suunnittelupuolelta.

Työ laaditaan yhdessä kohteen työnjohto-organisaation, kirvesmiesten sekä rakennesuunnittelijan kanssa. Ennakkoon kerättyjen tietojen pohjalta luodaan kuvaus puurunkotyöstä, työohjeesta sekä näiden sisällöstä. Kuvataan kohteen tiedot, jolle työ tullaan tekemään. Laaditaan alustavat työohjeet runkotyöstä ja niitä testataan käytännössä. Testauksen kautta tarvittaessa huonoiksi havaitut menetelmät korjataan ja tehdään tarkennuksia työohjeisiin. Työohjeiden lisäksi on mahdollista kehittää olemassa olevia detajli-kuvia, jolloin tietoa toimivammista ratkaisuksista saadaan vietyä eteenpäin. Työn tuloksen lopullinen versio saatetaan siihen muotoon, että sen käyttäminen jatkossa hyödyttää muita työmaita ja selvittää yhden näkemyksen puurunkoisen rivitalokohteen runkotöiden toteutuksesta.

2 Rivitalon puurunkotyö

Puurakentaminen

Puu on todella monipuolinen rakennusmateriaali, sillä se on ainoa uusiutuva materiaali, josta on mahdollista tehdä kaikki rakennuksen osat. Sitä on mahdollista käyttää niin kantavana rakenteena kuin myös pintoja muodostavana materiaalina sekä lämmöneristeenä. Puuta pidetään yleisesti miellyttävänä ja lämpimänä materiaalina. Puuta on saatavilla paljon ja esimerkiksi sahatavaran valmistus vaatii puolet vähemmän energiaa kuin betonin valmistus ja vain neljänneksen tiilen valmistukseen verrattuna. Muita puun hyviä ominaisuuksia ovat sen suhteellinen keveys, helppo ja siisti työstettävyys, sen monet liitosmahdollisuudet, sekä taloudellisuus. Kun puurakennus toteutetaan oikein, se on pitkäikäinen sekä hyvälaatuinen. [1.]

2.1 Runkorakenteet

Puurakenteisen rivitalon runkorakenteet voidaan toteuttaa usealla erilaisella tavalla. Tässä työssä tarkastellaan perinteistä seinien pystytystapaa, pre-cut-järjestelmää, platform-runkojärjestelmää, sekä suurelementtijärjestelmää. Tähän työhön valittiin nämä runkojärjestelmät, sillä ne ovat keskeisimmät esimerkkikohteen kannalta. Perusajatuksena järjestelmärakentamisessa on, että rakentaminen käsittää suunnittelun, valmistuksen, materiaalien hallinnan ja työmaatoimintojen muodostaman hallitun kokonaisuuden. Suhteessa panostukseen on mahdollista parantaa tulosta, oppimista, kehittämistä ja olosuhdetekijöitä hyväksi käyttäen. Ydinajatus on että suunnittelu ja valmis rakennus muodostavat kiinteän kokonaisuuden. Järjestelmärakentamisessa suunnittelulle kohdistetaan suuria vaatimuksia, jotta rakentamisesta saadaan kannattavaa ja järkevää. Kertaalleen tehty työ pitää pystyä hyödyntämään, toimintaa pitää systematisoida, tehostaa ja välttää aiemmat virheet. [2.]

Rakennuksen rungon täytyy kestää kaikki sille kohdistuvat rasitukset ilman haitallisia taipumia tai muita muodonmuutoksia. Kuormituksia rakenteille aiheuttavat rakennuksen oma paino, rakennuksen katolle kertynyt lumikuorma, tuulenpaine, rakennuksen sisällä olevat ihmiset, kalusteet, laitteet, ajoneuvot, maanpaine jne. Lisäksi rasituksia

runkorakenteille muodostavat säästä johtuvat tekijät, kuten kosteus ja lämmönvaihtelut. Runkorakenteet muodostavat lisäksi alustan siihen kiinnitettävälle verhous- ja eristysaineille ja kalusteille. [2.]

Kyseisen työn esimerkkikohteen runkotyöt toteutetaan hyvin suurissa määrin elementtirakentamisen periaatteella, joka on pre-cut-järjestelmän ja platform-järjestelmän sekoitus. Rakenteet kootaan paikanpäällä elementeiksi, jotka valmiina nostetaan ja kiinnitetään paikoilleen. Parhaan ratkaisun löytäminen ei ole helppoa, sillä valittavan runkorakenteen soveltuvuus on erilainen jokaisessa yksittäisessä kohteessa. [3.]

2.1.1 Perinteinen menetelmä

Paikalla rakentaminen pitkästä puutavarasta on perinteisin käytetty menetelmä. Tässä menetelmässä rakennuksen koko runko rakennetaan tehdasmittaisesta puutavarasta ja tarvittavat katkomiset ja loveamiset tehdään paikanpäällä. Pitkästä tavarasta rakentaminen on edelleen suosittu menetelmä sen muunneltavuuden, vähäisen nostokaluston tarpeen sekä perinteikkyyden vuoksi. Perinteinen menetelmä mahdollistaa myös kaikista tavoista yksilöllisemmän rakentamisen. Kirvesmiesryhmän ammattitaidolla ja osaamisella on suuri merkitys tässä rakennustavassa, jotta runko saadaan toteutettua aikataulussa ja kustannustehokkaasti. Kuvassa 1 esitetään perinteinen suomalainen puurunko. [4.]



Kuva 1. Perinteinen suomalainen puurunko. [5.]

Runkotolppina kantavassa ulkoseinässä on mahdollista käyttää massiivipuuta, viilupuu-
ta, liimapuuta ja uumakannakkeita. Yleisin näistä on massiivipuuta sahapintaisena, mita-
listettuna tai höylättyä. Suomalaisessa paikallarakentamisessa seinän kantavat runko-
tolpat tukeutuvat yleensä alasidepuuhun, joka on kiinnitetty perustuksiin teräsliittimillä.
Alasidepuumateriaalina tulee käyttää painekyllästettyä puuta. Mikäli alapohjaratkaisu-
na on ryömintätilainen tai kellaritilaan rajoittuva alapohja, on alasidepuu mahdollista
tukea myös alapohjapalkiston yläpintaan tai palkiston päällä olevaan jäykkään raken-
nuslevyyn. Alasidepuu ei saa olla suoraan kosketuksissa kiviaineisen perustuksen pääl-
lä, vaan se tulee erottaa alustastaan kattohuopakaistalla tai vastaavalla pitkäaikaikes-
tävyuden omaavalla kapillaarisen vedennousun estävällä kerroksella. [1.]

Runko tulee ankkuroida perustuksiin joko alasidepuun läpi menevillä vähintään 0,6
mm:n pulteilla, terästapeilla noin 2000 mm:n jaolla tai litteäteräksillä joka 3. tai 4. tol-
pan kohdalta. Tartuntapituuden on oltava vähintään 300 mm. Runkotolppina puurun-
koisessa seinässä käytetään 50 mm x 95-175 mm:n soiroja 600 mm:n jaolla. Kyseinen
600 mm:n jako toteutetaan mahdollisuuksien mukaan kaikissa lämmöneristettävissä ja
levytettävissä seinissä. Lisälämmöneristeen tukemiseen käytetyt rimat kiinnitetään joko
rungan sisä- tai ulkopuolelle ja ne ovat kooltaan noin 50 mm x 50 mm. Levyseinissä
sisäpuoliset rimat ovat aina runkotolppien suuntaisia. Pystypaneeliseinään kiinnitettäes-
sä on mahdollista myös vaakasuuntainen asennus. Mikäli lämmöneristeet on asennettu
hyvin, ei rimojen suunnalla lämmöneristävyyden kannalta ole merkitystä. [1.]

Rakennesuunnitelmat määrittävät aina rakennuksen kantavan rungon ja niitä tulee
noudattaa. Mikäli suunnitelmista halutaan poiketa jollain tapaa, tulee muutos hyväksyt-
tää kyseisen rakennuksen rakennesuunnittelijalla. [4.]

Eri rakennusmateriaaleja yhdistämällä saadaan aikaan rakenteita joiden avulla saavute-
taan toimivin lopputulos. Nykyään useita kohteita toteutetaankin ns. sekarunkona.

Kuvassa 2 nähdään puurunkoinen rivitalokohde, jossa väliseinät on valmistettu betonista. Betoniväliseinät mahdollistavat paremman ääneneristävyyden ja palonkeston huoneistojen välisinä seininä.



Kuva 2. Rivitalon puurunko betoniväliseinillä. [6.]

Kuvan 2 mukaisella toteutuksella puusta ja betonista hyödynnetään molempien hyviä ominaisuuksia ja saadaan aikaan toimiva rakenne. Perinteisen puurunkoisen rakennuksen ominaisuuksia on siis mahdollista hyödyntää monella eri tavalla ja yhä useammin runkotyöhön liitetään esivalmistelua. Perinteinen puurunkotyö kuitenkin tulee varmasti säilyttämään asemansa pienrakentajien keskuudessa vielä pitkään.

2.1.2 Pre-cut-järjestelmä

Pre-cut-rakentamisjärjestelmässä teollisen esivalmistuksen määrä on vähäistä. Rakentamiseen käytetty puutavara on ainoastaan valmiiksi lovettua ja katkaistua ennen materiaalien toimittamista rakennuspaikalle. Kuvassa 3 on runkoseinärakenne, joka on valmistettu valmiiksi lovetusta ja katkaistusta puutavarasta. [7.]



Kuva 3. Pre-cut-järjestelmällä toteutettu runko [8].

Kuvan 3 mukaisessa rungon toteutuksessa tulee käytettävien materiaalien olla merkittynä tarkkaan, koska esimerkiksi kuvan mukaisessa pyöreämuotoisessa seinärakenteessa vain tietyt osat ovat soveltuvia tiettyihin kohtiin.

Koska järjestelmän teollinen esivalmistus on vähäistä, löytyvät järjestelmän edut ensisijaisesti muualta kuin puutavaran teollisesta esivalmistuksesta. Suunnittelun asema on keskeinen Pre-cut-järjestelmässä. Suunnittelua vaativat työpiirustukset, rakennustyön suunnittelu sekä materiaalimäärien laskenta. Pre-cut-järjestelmän työpiirustusten tulee

kertoa, miten mikäkin kohta on teknisesti ratkaistu. Lisäksi niistä tulee löytyä tarvittavat tiedot runkotavaroiden menekkilaskentaan. Suunnitelmien tason ja kattavuuden määrittelevät ennemminkin menekkilaskennan tarpeet kuin vaatimukset rakentamismääräyskokoelmassa. Piirustukset vaihtelevat myös valmistajakohtaisesti ja niistä voi löytyä erilaisia rakennustyötä helpottavia mittoja ja muita tietoja. [2.]

Teollinen esivalmistuksen aste Pre-cut-järjestelmässä on määrämittäiseksi katkottu puutavara. Esivalmisteita voivat tosin olla myös valmiit kattoristikot ja tähän verrattavat komponentit. Rakennuksen muoto ja sen poikkeavuudet standardimitoista esim. huonekorkeudesta, verhouksesta tai aukotuksesta määräävät mitkä puutavarat tulevat tarkasti katkottuna työmaalle. [7.]

Pre-cut-järjestelmää käytetään eniten pientalokohteissa. Järjestelmän avulla rakennus täyttää hyvin asumisviihtyvyyden, lämpöisyyden ja tiiviyn vaatimukset. Rivi- ja pienkerrostalot eivät poikkea juuri rakenteeltaan pientaloista. Tällaisissa kohteissa on tärkeää pyrkiä mahdollisimman taloudelliseen toteutukseen, johon järjestelmä soveltuu mainiosti. Jokaisesta kohteesta on löydettävä oma tyyppirakenne ja ne tekijät, joita järjestelmän käyttäminen hyödyntää. Rakentamisen onnistuminen riippuu monesta tekijästä. Ammattirakentaja tarvitsee vähemmän yksityiskohtaista ohjeistusta kuin harrasterakentaja. Ammattirakentajalle riittäviä tietoja ovat standardipiirustukset ja työselitykset. Harrasterakentajalle tulevien ohjeiden on oltava riittävän yksinkertaisia ja havainnollistavia. [7.]

Työn joustavalle etenemiselle rakennuspaikalla on suuri merkitys esivalmistettujen materiaalien paketoinnilla ja pakettien sisältöluettelolla. Työn tuottavaksi ja tehokkaaksi saamisen kannalta merkitystä on myös pakettien purussa ja varastoinnissa työmaalla. Ahtaat tontit asettavat lisähaasteen tehokkaalle materiaalien varastoinnille ja käytölle. Varsinainen rungon rakentaminen sujuu rakennusryhmän ammattitaidon ja suunnittelutyön laadun mukaan. [1.]

Olemassa olevista järjestelmistä on Pre-cut-järjestelmä joustavin. Ainoastaan pitkistä tavarasta rakentaminen mahdollistaa joustavamman kokonaisuuden. Pre-cut mahdollistaa arkkitehtisuunnittelulle hyvin vapaat kädet. Tosin niin tässä kuin muissakin järjestelmissä, syntyy joustavuus taloudellisuutta heikentäen. Rajoittava tekijä on kuitenkin

vakiorakenteet. Vakiorakenteita voivat olla esim. asuntorakennukset, autovajat jne. Jotta suunnittelusta, rakentamisesta sekä tarviketoimituksesta saataisiin järkevää, ovat nämä vakiorakenteet välttämättömiä. Ilman rakennustyön yksikköaikajärjestelmää on Pre-cut-järjestelmä puutteellinen. Koska menetelmä on hyvin työmaapainotteinen, valuu järjestelmän tuoma hyöty hukkaan, mikäli työn suorittava kirvesmiesryhmä ei käytä hyväksi kerrannaisvaikutuksen ja työtä nopeuttavien rakenneratkaisujen antamaa hyötyä. [7.]

Taloudellisuus saadaan saatettua parhaimmilleen kun arkkitehtuurin ja rakennustekniikan tavoitteet yhdistetään. Arkkitehtisuunnittelua tulisi kohteissa ohjata sellaiseksi, että rakenteet on työmaalla tehokkaasti toteutettavissa ja hukkaa syntyy mahdollisimman vähän. Järjestelmän taloudellisuus perustuu yksityiskohtaiseen määrälaskentaan, laskeutuun tarvikemenekkiin rakenteissa sekä asennustyön tehokkuuteen. Järjestelmä on hyvin suuresti työmaapainotteinen. Rakenteita suunniteltaessa ja materiaaivalintoja tehdessä saattaa parhaan ratkaisun löytyminen määräytyä rakentamista helpottavien tekijöiden mukaan eikä niinkään materiaalien edullisempien hintojen mukaan. Oikein valmistettu ja suunniteltu pre-cut-järjestelmärunko on huomattavasti nopeammin pystyssä kuin tavanomainen paikalla tehty rakenne. Elementeistä koottuun rakenteeseen nähden suurta eroa ei synny [7].

2.1.3 Platform-menetelmä

Platform-menetelmä alkoi kehittyä Yhdysvalloissa jo 1880-luvulla. Rungon etuna on sen nopea pystytettävyyden ja rakenteellinen toimivuus. Tärkeimpiä vaikutteita järjestelmän muotoutumiseen ovat levyjäykistettyjen rankorakenteiden kehitys ja pyrkimys määrälläisen puutavaran käyttöön työmaalla. Platform-menetelmä perustuu yleisiin ja mitoiltaan yhteensopiviin rakennusosiin. Keskeinen ajatus järjestelmässä on pystyrungon katkaisu välipohjien kohdalla. Jokaisen kerroksen pystyrunko lähtee rakentumaan välipohjaa jäykistävän rakennuslevyn päältä. Lisäksi tarvittava osa väli- ja ulkoseinistä jäykistetään rakennelevyillä. Tällä tavoin syntyvässä rakenteessa eri kerroksista syntyy oma runkokokonaisuus. Tällä tavoin puulle ominaiset, kosteusvaihteluista johtuvat rakenteiden mittamuutokset helpottuvat. Joka tapauksessa rungon eläminen on huomiotava rakennusosissa, jotka yhdistävät useampia kerroksia tai rungon eri osia. [7.]

Platform-rakentamisen periaatetta on mahdollista soveltaa sekä elementti- että paikallarakentamiseen. Sen vuoksi on mahdollista toteuttaa kehittyneempiä ja aikataulullisesti kannattavampia paikallarakentamismenettelyjä. Valmiiksi mittaansa katkotun puutavarankäyttö on mahdollista määrämittaisten pystyrakenteiden ansiosta. Työmaalla ei vaadita raskaita nosto- ja telinejärjestelyjä, koska kerrokset rakentuvat toinen toisensa päälle ja käytettävät rakennusosat ovat paikallarakennettaessa kevyitä. Kuvassa 4 nähdään Platform-tekniikalla valmistettu seinäelementti, joka on valmiina nostettavaksi. Suunnitteluvaiheessa tuleekin kiinnittää huomiota valmistettavien elementtien kokoon, sillä liian suuri elementti vaatii nostokalustoa ja lisää näin kustannuksia. [7.]



Kuva 4. Platform-tekniikalla valmistettu elementti valmiina nostettavaksi. [9].

Kuvan 4 elementti on jo melko suurikokoinen, joten sen nostaminen tulee suunnitella huolella. Suunniteltaessa tulee huomioida myös rakenteiden yhtenäisyys, sillä esim. päätyseinät on yleensä järkevintä koota yhdestä elementistä.

Platform-järjestelmän pohjalta Suomeen kehitettiin avoin puurakennusjärjestelmä. Suomen puurakentamisen tavoitteena on ollut kehittää yksi yhtenäinen, rakentamisen eri osapuolet yhdistävä järjestelmä, jonka osaksi kootaan kaikki tehdyn kehitystyön tulokset. Lahdessa sijaitseva "Poppeli" oli ensimmäinen Suomessa avoimella puuraken-

nusjärjestelmällä toteutettu asuinkerrostalo. Järjestelmä on rakenteellisesti kehitetty versio perinteisestä kantavaseinäisestä rankarakenteesta. Ensisijainen soveltuvuus avoimella puurakennusjärjestelmällä on määrämittäisiä valmisosia hyödyntävään paikalla rakentamiseen. Käytettäviä perustarvikkeita ovat määrämittaiset rankotolpat, ala- ja välipohjapalkit sekä rakennuslevyt. Tarvikkeiden vakiokoot on suositeltavaa ottaa huomioon rakennuksen mitoituksessa. Työmaalla tapahtuva materiaalien työstäminen sekä materiaalihukka vähenee. [21.]

Avoin puurakennusjärjestelmässä runko rakennetaan kerroksittain ja sen seinät ovat kantavia. Ensimmäisen kerroksen alapohjapalkisto asennetaan perusmuurin tai kellarin kantavienseinäarakenteiden päälle ja sen päälle välittömästi aluslattialevyt. Ensimmäisen kerroksen seinät rakennetaan näin muodostuneen tason päällä. [21.]

2.1.4 Suurelementtijärjestelmä

Suurelementtijärjestelmällä tarkoitetaan eri valmiusasteista koko seinän suuruista rakennetta. Suurelementtirakentamisessa rakenneosat kuten ulko-, väli-, huoneistojen väliset seinät, ylä-, ala- ja välipohjat sekä näitä täydentävät osat kuten päätykolmiot, palokatkot jne. muodostetaan suurista levyelementeistä. Suur- ja pienelementtirakentamisen erottaa parhaiten toisistaan niiden asennustyö; suurelementtien asennuksessa tarvitaan poikkeuksetta nosturia elementtien suuren koon ja painon vuoksi. Kuvassa 5 nähdään elementin asentamista paikoilleen. [7.]



Kuva 5. Suurelementtien asentamisessa nostokaluston tarve suurenee. [10.]

Kuva 5 havainnollistaa hyvin suurelementtien koon. Ulkoseinäelementtien koot vaihtelevat pituudeltaan 0,3 metristä aina 14 metriin saakka korkeuden ollessa 0,3 metristä aina 3,5 metriin saakka. Suurelementtien koolle asettaa esteen ainoastaan kuljetus tehtaalta työmaalle. Rakenteesta riippuen elementtien painot vaihtelevat noin 20 kg/m² aina 160 kg/ m². Elementtiä kohden oleva maksimipaino on noin 3,5-4 tonnia / valmistettava elementti. [7.]

Elementtirakenteisen talon suunnittelu ei poikkea juuri miltyään osin perinteisen puutalon suunnittelusta. Joustavinta suunnittelua on pre-cut-järjestelmässä ja seuraavaksi eniten vapausasteita tarjoaa suurelementtijärjestelmä. Suurelementtitekniikalla rakennetun talon saattaminen taloudelliseksi vaatii kuitenkin suunnittelulta niin arkkitehtonisesti kuin rakenteellisestikin jonkin asteista systematiikkaa. Yksilöllisetkin ratkaisut saadaan kannattaviksi, kun otetaan huomioon valmistajien sekä järjestelmien erilaiset edellytykset. Suurelementtijärjestelmä sallii suuren muunneltavuuden ja tarjoaa siksi rakenteellisesti ja arkkitehtonisesti rakentajalle useita eri vaihtoehtoja. Suurelementtirakentaminen poikkeaa pienenlementtirakentamisesta myös siinä, että se mahdollistaa usein jopa runkorakenteeseen muunneltavuusvaihtoehtoja. [1.]

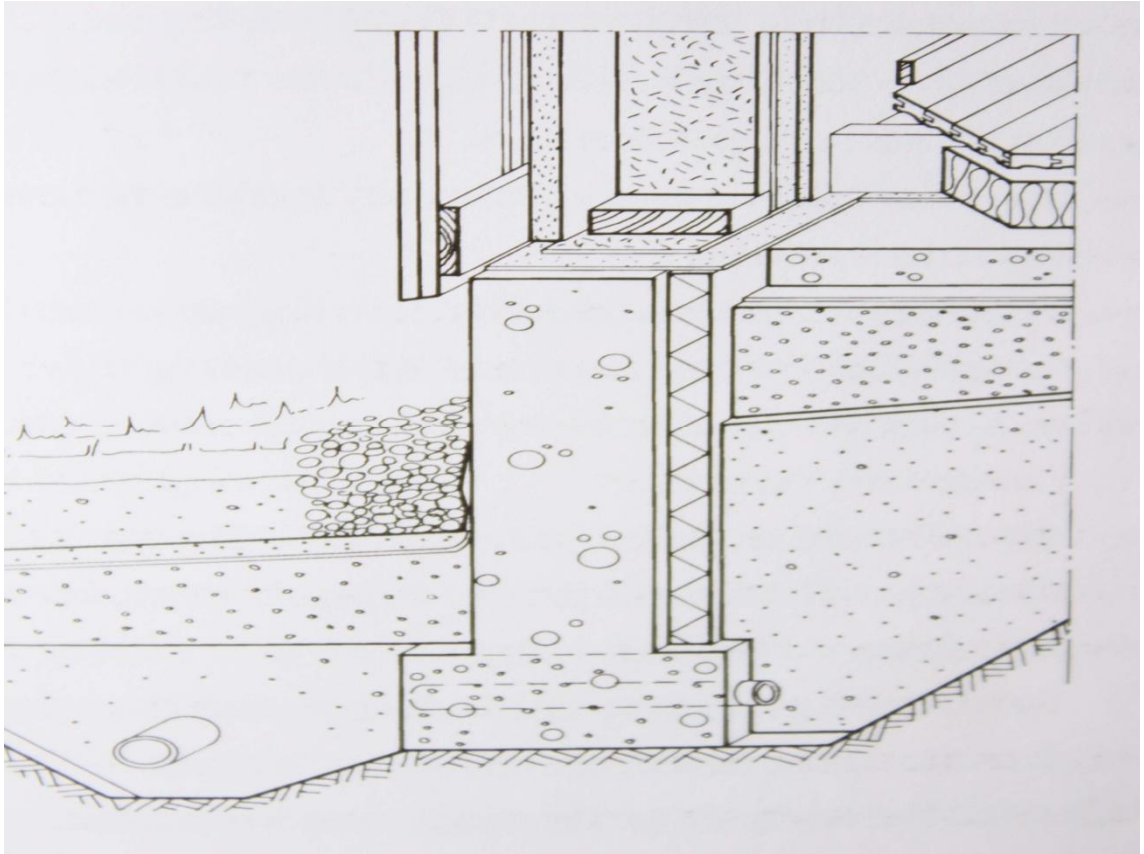
Kokonaisuudessaan suurelementtisuunnittelu perustuu rakentajan tarpeista lähtevään suunnitteluun, huomioonottaen järjestelmään liittyvät detalli- ja muut tekniset osaratkaisut. Eniten suurelementtituotanto eroaa pienenlementtituotannosta valmiusasteeltaan. Ulkoseinäelementit ovat ulkopuolelta valmiiksi viimeistelyä, mutta myös näissäkin on valmistajakohtaisia eroja. Väliseinäelementtien valmiusaste on myös suuri ja niihin onkin tehty jo valmiina tehtaalla mm. sähköputkitus rasiapohjineen. Suunnittelu-työ tulee olla pitkälle vietyä monessa asiassa. Suurelementtejä valmistetaan elementtulinjoilla tai elementtiasemilla. Elementtien valmistus jaetaan eri vaiheisiin, joita ovat osien valmistus, esikasaus, rungon kasaus, viimeistely, pakkaus ja lähetys. [7.]

2.2 Maanvarainen alapohja

Maanvarainen alapohja ei kuulu puurunkotyöhön, mutta tahdon tuoda sen teorian myös esille tässä työssä, sillä se on käytettävä rakenne esimerkkikohteessa. Maanvarainen alapohja on rakenne, jossa lattiarakenteet ovat ilman tuuletettua ilmapäliä suoraan kantavan maakerroksen päällä. Maanvaraista alapohjaratkaisua on käytetty Suomessa 1950-luvulta alkaen. Lämpöäviöt perustusten ja alapohjan kautta pyritään pitämään mahdollisimman vähäisinä ja samalla hyödyntämään maan luovuttamaa lämpöä. [1.]

Perustusten kautta tapahtuvaa energiahukkaa voidaan vähentää käyttämällä riittävän paksuja lämmöneristyskerroksia alapohjan reunoissa ja perusmuurin yhteydessä sekä riittävää perusmuuriin liittyvää ulkopuolista maaeristettä. Tällä tavoin nostetaan samalla lattian reunaosien pintalämpötilaa. [7.]

Lämmöneriste on mahdollista sijoittaa lattialaatan ylä- tai alapuolelle. Kuvassa 6 nähdään maanvarainen lattiarakenne, jossa lämmöneriste on sijoitettu lattialaatan yläpuolelle. [1.]



Kuva 6. Maanvarainen lattiarakenne, jossa lämmöneriste lattialaatan yläpuolella [1].

Kuvasta 6 poiketen maanvaraisista alapohjatyypeistä uudemmassa ja nykyisin yleisemmin käytetyssä lämmöneriste on lattialaatan alla. Alapohjarakenteen muodostaa kuormituksia ja kosteutta kestävä lämmöneriste, joka on asennettu tasatun maakerroksen päälle. Lämmöneristeen päällä on yläpuolisia kuormituksia vastaanottava laatta. Laatta on yleensä teräsbetonia. Perusmaan ja lämmöneristeen väliin asennetaan kapillaarisuuden katkaiseva noin 100 mm:n tasaussora tai sepelikerros. [1.]

Höyrynsulkua ei yleensä käytetä kuivien tilojen maanvaraisissa lattiarakenteissa, paitsi lattialämmityksen yhteydessä. Lattialämmityksen yhteydessä on hyvä käyttää vesihöyryn nousun estävää kermiä tai muuta kestävää kosteussulkua. Toisena poikkeuksena on parkettilattiat, joissa betonin ja parketin välissä tulee käyttää kosteussulkua, mikäli betonin riittävästä kuivuudesta ei voida olla täysin varmoja. Kaikissa ratkaisuissa on huolehdittava, että seinän puurakenteet pysyvät kuivana. [1.]

Vaurioita aiheuttavat muun muassa maasta perustuksiin ja alapohjarakenteisiin kapillaarisesti nouseva kosteus, rakennekosteus, sisäilman vesihöyryn aiheuttama kosteus sekä kostean tilan vuodot ja putkivuodot. [7].

2.3 Väliseinät

Puurunkoisten rakennusten väliseinät voivat olla joko kantavia tai kantamattomia. Yhdessä ulkoseinien kanssa väliseinät osallistuvat niiden kuormien kantamiseen, joita ovat mm. rakennuksen oma paino sekä talviset lumikuormat. Kantamattomien väliseinien sijainnin muuttaminen on helppoa, mutta kantavia väliseiniä on myöhemmin vaikea siirtää. Kantavien väliseinien materiaalina käytetään yleensä 45–50 mm x 95–100 mm:n soiroja. Runkojako voi olla k300,400 tai 600. Yleisimmin käytetty jako on k600. Kuvassa 7 on perinteinen puurunkoinen väliseinä. [1.]



Kuva 7. Puurunkoinen väliseinärakenne [11].

Kuvan 7 väliseinästä nähdään hyvin runkojako ja välit joihin lämmöneristeet voidaan asentaa yhtenäisinä levyinä. Tolppajako tihentämällä ja/tai käyttämällä useampaa tolppaa vierekkäin voidaan seinän kantavuutta vahvistaa. Rakennuslevyillä jäykistetään seinärakenne. Oven karmien ja seinien pintaverhouksen asentamista voidaan helpottaa käyttämällä mitallistettua puutavaraa. Käytettävän puutavaran tulee olla kuivaa, suoraa ja mielellään höylättyä tai ainakin kapeilta sivuiltaan mitallistettua. [1.]

Kantavilla väliseinillä voidaan katto- ja välipohjarakenteita keventää ja näin ollen kustannuksia pienentää ilman väliseinärakenteiden vastaavanlaista kustannusnousua. Kantavilla väliseinillä voidaan myös vähentää ylä- ja välipohjan taipumia ja värähtelyä. Liitoksissa (ulkoseinä-välipohja, väliseinä-ulkoseinä) on huolehdittava siitä, että höyryn-sulku jatkuu katkeamatta myös liitoksen kohdalla. Käytettäessä maanvaraista laattaa, ei väliseinän alasidepuuta ja runkoa saa jättää betonivalun sisään vaan silloin tulee käyttää tiilistä tai harkoista tehtyä koroketta alustana. Kantavat väliseinät perustetaan ulkoseinien tavoin eli alaohjauspuu tuetaan perusmuuriin tai kantavan rossipohjapalkiston yläpintaan. [1.]

Kantamattomien väliseinien rakenne on samanlainen kuin kantavalla puurunkoisella seinällä. Tolppien jakoväli kantamattomissa väliseinissä on yleensä myös k600. Märkien tilojen seinissä tolppajaon tulisi olla 300 - 400 mm. Katto- tai välipohjarakenteiden painumaan on varauduttava kantamattomien seinien kohdalla. Tämän vuoksi seinän yläsidepuun ja katon väliin on jätettävä riittävä laskeutumisvara. [2.]

Kantamattoman väliseinän runkoratkaisuna voidaan käyttää sinkitystä teräspellistä tehtyä teräsrankaa. Tämä ratkaisu on mahdollinen ainoastaan kantamattomissa väliseinissä, sillä se ei kestä kantaville seinille kertyviä kuormituksia. Verrattuna puurunkoiseen seinään, on peltirangan hyviä ominaisuuksia ensisijaisesti sen varma pysyminen suorana. Teräsrankoja käytetään usein suurissa kohteissa, pienrakentamisessa harvinaisempaa. [2.]

Kosteuseläminen tulee ottaa huomioon puuaineisten levyjen sekä puurungon rakenteissa. Tämän vuoksi edellytetään 1 – 10 mm:n varjosaumaa levyjen saumoissa, lattian ja katon rajassa, seinän nurkissa sekä ikkuna- ja ovikarmien liitoksissa. Kipsilevytys voidaan tehdä ilman näkyviä pystyssä sijaitsevia varjosaumoja. Puulevytyksessä myös ponttisaumoitus on mahdollinen. Levyt kiinnitetään tarpeeksi tiheällä ruuvituksella reunoista ja keskeltä puurunkoon. [1.]

2.4 Välipohja

Välipohjan rakenteet vaihtelevat paljon niiden akustisten, paloteknisten sekä ulkonäölle asetettujen tavoitteiden mukaan. Välipohjan kantavien palkkien mitoitus suoritetaan samalla tavalla kuin ryömintätilaisen alapohjan. Huomioitavia seikkoja ovat yläpuolelta kohdistuva kuormitus, kantavien palkkien pituus, niiden keskinäinen etäisyys ja käytettävä palkkityyppi. Olennaista kantavuuden lisäksi välipohjapalkiston mitoituksessa on taipuman ja värähtelyn minimoiminen. Massiivisella puutavaralla käytettävät jännevälit ovat noin 4-5 metriä. Viilupuuta tai puulevyuumaisia palkkeja käytettäessä on mahdollista päästä jopa 6 metrin vapaisiin pituuksiin. Liimapuupalkit eivät periaatteessa aseta vapaalle jännevälille rajoituksia. Pintarakenne lattiaan tehdään kuten alapohjissa. Ääni- ja palotekniset näkökohdat tulee ottaa huomioon rakenteiden suunnittelussa lähinnä sen mukaisesti, millaisia huonetiloja on välipohjan ylä- ja alapuolella. Kuvassa 8 nähdään puukerrostalon välipohjan kantavia rakenteita. [1.]



Kuva 8. Puukerrostalon välipohjan kantavia rakenteita [1].

Kuvassa 8 nähdään, miten massiivisiksi välipohjarakenteet voivat muodostua kuormien lisääntyessä. Lisäksi kuvasta 8 nähdään hyvin lämmöneristeiden asentamistila, jota on runsaasti massiivisissa rakenteissa.

Välipohjissa, jotka kuuluvat samaan asuntoon, ei tarvita samanlaisia ääneneristeitä kuin eri huoneistojen välisissä välipohjissa on. Sama tilanne on lämmöneristysten kanssa. Koska huonetilat ovat samanlämpöisiä, niiden väliin ei tarvita lämmöneristeitä. Märkätilojen välipohjat tulee varustaa erikoisohjeiden mukaisilla vedeneristyksillä. Kattoverhoukset, jotka sijoittuvat välipohjan alle valitaan huonetilojen laatuvaatimusten mukaisesti. Yksinkertaisimmillaan puurakenteinen välipohja tehdään suoraan palkiston yläpintaan kiinnitetyllä lattialaudoituksella tai -levytyksellä. Välipohjarakenteen ääneneristävyyttä voidaan parantaa asentamalla palkiston väleihin mineraalivillalevyjä. Välipohjalle, joka sijaitsee kaksikerroksisessa puisessa asuinkerrostalossa äänitekniset vaatimukset ovat samat kuin kolmi- ja nelikerroksisilla puurakennuksilla. Palotekniset vaatimukset ovat hieman lievemmat, sillä kaksikerroksiseen asuinkerrostaloon ei tarvitse asentaa automaattista vesisammutusjärjestelmää. Pintakerrosvaatimukset ovat myös huomattavasti lievemmat kaksikerroksisessa puutalossa. [2.]

Alapohjan tavoin välipohjaankin joudutaan tekemään yleensä aukotuksia, jotka eivät sovi käytettävään palkkijaotukseen. Tällaisia suuria aukkoja ovat esimerkiksi sisäportaat ja savuhormit. Tällaisissa tapauksissa kuormat siirretään aukon reunoille siirtopalkkien välityksellä. Siirtopalkki voidaan sijoittaa välipohjapalkiston yläpuolelle, samaan tasoon tai sen alapuolelle. Siirtopalkki tukeutuu vahvistettuihin välipohjapalkkeihin. [1.]

Huoneistojen välisen välipohjan tulee täyttää ilmaääneneristysvaatimus $R'_{w} \geq 55$ dB ja askelääneneristysvaatimus $L'_{n,w} \leq 53$ dB. Sen tulee täyttää myös palonkestovaatimus REI 30 (kaksi kerrosta) ja REI 60 (kolme ja neljä kerrosta), sillä se on kantava ja osastoiva rakenne. Asumismukavuuden kannalta ilmaääneneristys ja askelääneneristys sekä liikkumisesta aiheutuvan narinan poistaminen ovat todella tärkeitä suunnittelun lähtökohtia. Myös äänen mahdollinen sivusiirtymä on otettava huomioon. [1.]

Lattiarakenne on tehtävä siten, että pintamateriaali ja sen alla oleva levytys asennetaan eristekerroksen tai jäykän mineraalivillan päälle. Palkiston väliin tulee asentaa 100 mm:n mineraalivillalevy. Välipohjan alapuolinen kattoverhous kiinnitetään metallisiin jousirankoihin ruuveilla. Ulkoseinän lämmöneriste katkaistaan yläpohjan kohdalla vaa-

kasoiroilla, äänen sivusiirtymän sekä seinän sisällä vaikuttavan savupiippuilmion vähentämiseksi [2.]

2.5 Yläpohja

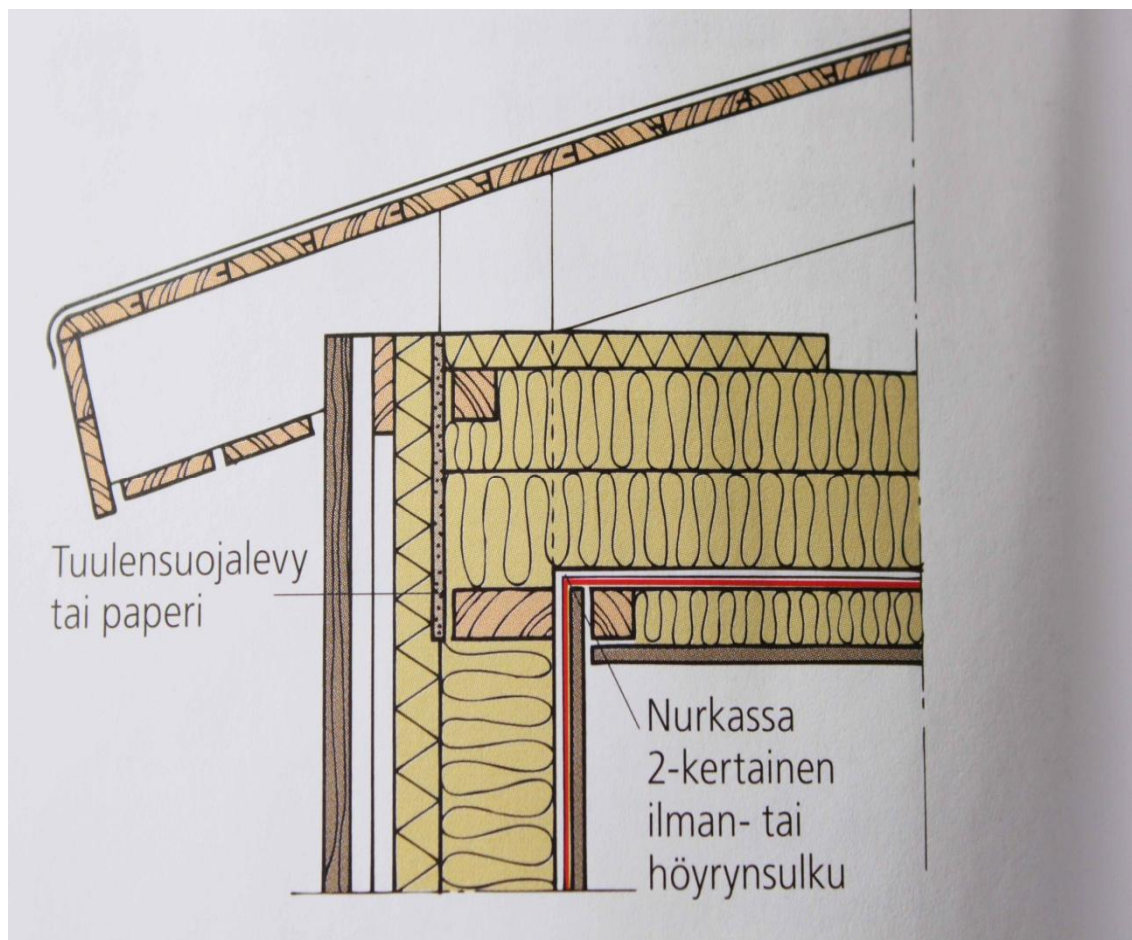
Yläpohja muodostaa rakennuksen ylimmän kerrospohjan. Se on yleensä kylmää ullakotilaa tai vesikattoa vasten oleva lämmöneristetty rakenne, jonka yläpinnassa on tuulensuoja ja höyrynsulku eristeiden alapuolella. Muut rakenneosat suunnitellaan yläpohjan sijaintikohdan, sen käyttötarkoituksen ja esim. lämmöneristekerroksen paksuuden mukaan. Riippumatta siitä, onko yläpohja erillinen, muodostavat yläpohja sekä vesikatto toiminnallisen kokonaisuuden. Rakenteen kosteusteknisen kokonaisuuden kannalta on välttämätöntä, että puurakenteinen yläpohja erotetaan tuuletusraolla vesikatosta. Yläpohjan tuuletuksesta on huolehdittava, sillä jos ilmavirtaus ei toimi kunnolla, voi ilmassa oleva kosteus kondensoitua kylminä vuodenaikoina vesikaton alapinnan rakenteisiin ja aiheuttaa näin kosteusvaurioita. Lämmöneristeiksi yläpohjaan soveltuvat parhaiten joko puhallettavat tai levymäiset puukuitueristeet ja mineraalivillat. Palomääräykset asettavat usein rajoituksia lämmöneristeen valintaan. Kuvassa 9 nähdään yläpohjarakenne, jossa lämmöneristeet valmiiksi asennettuna. [2.]



Kuva 9. Yläpohjarakenne, jossa lämmöneristeet asennettuna. [12.]

Nykyrakentamisessa on yleistä tehdä kuvan 9 mukaisia yläpohjarakenteita ja käyttää lisälämmöneristeinä puhallusvilloitusta. Puhallusvillan avulla yläpohjarakenteen lämmöneristyksestä saadaan tiivis ja eristys ulottuu myös sellaisiin kohtiin, joihin lämmöneristelevyt eivät asetu tiiviisti.

Yläpohjassa olevan höyrynsulun tehtävänä on toimia ilmansulkuna. Jotta yläpohjarakenteesta saadaan mahdollisimman pitkäaikainen, tulee höyrynsulku toteuttaa joko muovittamattomalla sitkeällä rakennuspaperilla tai vastaavalla tiiviillä puukuitulevyllä. Höyrynsulun ja sisäkattoverhouksen väliin kannattaa varata noin 50 mm:n asennusväli, johon voidaan sijoittaa erilaisia putkivetoja ja sisäkattoverhoukseen liittyviä upotuksia ilman, että höyryn/ilmansulkua rikotaan. Kattopinnan oikaisun sekä mahdollisen lisälämmöneristämisen mahdollistavat kattokannakkeiden alapuoliset korokerimat. Kuvassa 10 on esimerkkiratkaisu yläpohjarakenteen teoreettisesta tiivistämisestä. [1.]



Kuva 10. Yläpohjan tiivistys [1.]

Kuten myös kuvasta 10 voidaan huomata, vaativat yläpohjan nurkkaliitokset erityistä huomiota. Nurkkaliitosten tiiviys varmistetaan kaksinkertaisella ilman- tai höyrynsululla. Yläpohjan kannatukseen soveltuvia ratkaisuja ovat massiivipalkit, liimapuupalkit, viilupuupalkit, kevennetyt uumapalkit ja kattoristikot. Tärkeimmät tekijät yläpohjapalkiston mitoituksessa ovat käyttö- ja omankuorman lisäksi lumi- ja tuulikuorma. [2.]

Ullakkoon rajoittuvissa vaakasuorissa yläpohjissa ei tarvita lämmöneristeen yläpuolista tuulensuojaa vaan sen korvaavat yläpohjan reunaosissa olevat ilmanohjauslevyt. Vesikatonsuuntaisissa yläpohjissa käytetään aina hyvin vesihöyryä läpäisevää tuulensuojaa. Parhaita tuulensuojamateriaaleja ovat hygroskooppiset puuperäiset tuotteet, kuten kosteudenkestävät huokoiset puukuitulevyt. [1.]

2.6 Vesikattorakenteet

Vesikatto suojaa koko rakennusta sään aiheuttamilta rasituksilta ja vaikuttaa rakennuksen ulkonäköön. Vesikatteen muodostavia osia ovat tavallisesti katteen suoja, kate ja katteen alusta. Puurakennusten kattotyypit on mahdollista luokitella niiden kaltevuuden ja vedenpitävyyden mukaan juoksevaan vettä pitävään kattoon sekä seisovaan vettä pitävään kattoon. Toisena ryhmittelyperusteena voidaan pitää yläpohjan ja vesikaton muodostamaa toiminnallista kokonaisuutta. Kokonaisuuden perusteella kattotyypit voidaan ryhmitellä kylmiin ja lämpimiin kattoihin. Kylmässä katossa yläpohjarakenne on vesikattorakenteesta erillään. Lämpimässä katossa yläpohja, joka on lämmöneristetty sekä tuuletusrako ja vesikatto muodostavat yhdessä toiminnallisen kokonaisuuden. [1.]

Jännevälit ja vesikaton alla olevien tilojen käyttö määrää ensisijaisesti vesikaton kuormia kantavien palkistojen tai kattotuolien rakenteen. Erilaiset ristikkorakenteet ovat yleisimmin käytettyjä pientaloissa. Yksinkertaisimpia vesikattoja kannattavista rakenteista ovat palkistot. Ne on yleensä valmistettu sahatusta soirosta tai lankusta orsien ja seinien varaan. [2.]

Kattoristikot voidaan valmistaa paikanpäällä tai käyttää teollisesti valmistettuja NR-kattoristikkoita. Naulaamalla valmistetut ristikkorakenteet tulee tehdä rakennesuunnitelmien mukaisesti. Mitoituksen lisäksi näissä on määrätty puun lujuusluokka ja koko, jokaisen liitoskohdan naulamäärä ja -koko, sekä liitoskohtien naulauskaaviot. Naulattujen ristikkorakenteiden liitoskohdissa voidaan käyttää osittain vanerisia liitosvahvikkei-

ta. Ristikko valmistetaan työkohteessa ristikon pituisella työpöydällä. Ristikon mittojen mukaisiksi mallineiksi työpöydän pintaan kiinnitetään soivot. Paarteista tehdään mallineen mukaisiksi, jolloin kaikista ristikoista saadaan tarkasti samankokoisia. Ristikot voidaan koota myös työpukkien varassa. [2.]

Naulapaikkojen mitoitus piirretään kovalevyllä rakennepiirustusten naulauskaavion mukaisesti ja kovalevystä tehdään malline, jonka avulla naulojen paikat saadaan merkityksi tarkasti liitoskohtiin. Pienikin poikkeama naulaustyössä voi aiheuttaa suuren virheen koko ristikkorakenteen toimivuudelle. Tästä syystä naulaustyö tulee suorittaa erittäin tarkasti. Yhden liitoskohdan pettäminen ristikkorakenteessa voi aiheuttaa kuormituksen moninkertaistumisen toiselle liitokselle ja näin koko rakenteen rikkoutumisen. Rakenne on yhtä vahva kuin sen heikoin liitoskohta on. Naulattujen ristikoiden valmistaminen vaatii tarkkuutta, sillä työvirheet ovat seuraukseltaan vakavia. Kunnollinen suoritus vaatii rakennepiirustusten noudattamista, naulauksien oikeudellisuutta sekä oikeiden materiaalien käyttöä. [2.]

NR-kattoristikot ovat teollisesti valmistettuja aina talokohtaisten tilausten mukaisia rakenteita. Näiden valmisosien ansiosta rakennustyötä voidaan nopeuttaa sekä saavuttaa taloudellisesti tarkoituksenmukainen, hyvä vesikatto- ja yläpohjarakenne. NR-ristikoiden materiaalina käytetään mittatarkaksi höylättyä lujuusluokiteltu puutavaraa. NR-kattoristikoiden taipumat ovat pienempiä kuin monen vastaavan rakenteen, sillä naulalevyliitos on liitostavoista jäykin. Kuvassa 11 nähdään teollisesti valmistettuja kattoristikoita asennusvaiheessa. [2.]



Kuva 11. Kattoristikoiden asennustyötä [6].

Pientalorakentamisessa kattoristikot on yleistä tukea ainoastaan ulkoseinien varaan, mikä mahdollistaa joustavan huonetilojen muunneltavuuden ja suunnittelun sekä mahdollistaa väliseinien rakentamisen kevyinä. Puuosien lujuus pystytään käyttämään paremmin hyödyksi naulalevyjen ansiosta. Tällä tavoin saavutetaan pienemmät puutavarakoot ja kevyemmät rakenteet. Naulalevyistä kerrotaan tarkemmin luvussa 9. [2.]

NR-kattoristikon rakenne on tasapaksu, joten sen väliin asetettavat lämmöneristelevyt saadaan liitettyä tiiviisti. NR-ristikoita valmistavat Suomessa useat yritykset ja tuotteita välittävät puutavara- ja rakennustarvikeliikkeet. Toimitusaika ristikoille yleensä on muutamia viikkoja. NR-kattoristikot mitoitetaan tietokoneen avulla ja se kuuluu yleensä mukaan kauppahintaan. Ristikoiden toimitus työmaalle tulisi hoitaa siten, että niiden asentaminen ja paikalleen nosto voitaisiin suorittaa heti kuorman saavuttua. Ristikoita käsiteltäessä on varottava niiden mahdollista kiepsahtamista ja nurjahtamista. Varastoitaessa ristikoita täytyy huomioida, että ristikot ovat sateensuojassa eivätkä ne kosketa maata. Naulalevy voi irtaantua kastuneen ja turvonneen puun seurauksena, eikä tällöin palaudu ennalleen puun kuivuessa. [2.]

Yleisiä aluskatemateriaaleja ovat armeerattu muovi, kovalevy tai erityisesti aluskatteeksi valmistettu kova pahvi (panssarialuskate). Kuvassa 12 nähdään aluskatetta asennettuna ruoteiden alla. Aluskatteen päälle joutuneen veden on päästävä esteettömästi valumaan räystäälle ja edelleen rakennuksen ulkopuolelle. Tämä tulee huomioida aluskatetta asennettaessa, esimerkiksi limitysjärjestyksen avulla. Aluskatteen läpäisyt ja pitkäaikaiskestävyys saattavat aiheuttaa ongelmia. Loivat, juoksevaa vettä pitävät katot ja lyhyträystäiset katot tulisi varustaa vedenpainetta kestävällä aluskatteella lumen sulamisvesien vuoksi. [1.]



Kuva 12. Aluskatetta asennettuna [6].

Muotoilun suhteen on huolehdittava veden esteettömästä poistosta katolta viemäriverkostoon tai ympäröivään maastoon. Seinät suojataan tehokkaasti käyttämällä riittävän pitkiä räystäitä. Tasakatoissa kattokaltevuu­den tulee olla vähintään 1:50 veden poijohtamiseksi kattokaivoihin päin. Jokaisella erillisellä kattoalueella tulee olla vähintään kaksi toisistaan riippumatonta kattokaivoa. Viemäriverkostoon vedet johdetaan lämpi-

mien tilojen kautta. Kaltevat katot tulee varustaa lumiesteillä, jotka estävät lumen haitallisen valumisen. Muut viranomaisohjeidenmukaiset tikkaat ja kävelysillat suunnitellaan katon ominaisuuksien mukaan. [2.]

2.7 Rakennusosien nostotyöt

Elementtien nostaminen tulee aina suorittaa suunnittelijan määräämistä nostopaikoista. Väärästä kohdasta nostaminen voi vaurioittaa rakennetta, vaikka vahinkoa ei välittömästi näkyisikään. Nostokohdat ovat yleensä vahvistettuja ja selkeästi esitettyjä esimerkiksi runkoseinäelementtipiirroksissa. [3.]

Pienelementtijärjestelmärakentamisessa saavutetaan huomattavaa etua siitä, että elementit voidaan asentaa paikalleen miesvoimin. Nosturia ei rakennuspaikalla tarvita ja nostotyön kykenee suorittamaan kahden miehen työryhmä. Tämän vuoksi järjestelmä soveltuukin mainiosti kohteisiin, joissa rakennustyön tekee pieni kirvesmiesryhmä tai rakennusliike. [13.]

Suurelementit asennetaan usein tehtaan toimesta, joten tässäkin järjestelmässä ei tarvita raskasta nostokalustoa työmaalle. Suurelementtejä käytettäessä elementtien toimitus kuitenkin edellyttää perustusten teon suunnitelmien mukaisesti ja perustusten tarkkuuden tulee olla korkeus- ja vaakamitoituksen osalta 5 mm. [13.]

Vesikattorakenteet rakennetaan yhä enemmän valmiiksi jo maassa ja nostetaan nosturilla paikoilleen. Tämän ansiosta työ on nopeampaa ja turvallisempaa kuin ylhäällä suoritettu työ. Vesikattorakenteita rakennetaan maassa eri valmiusasteeseen, toiset työmaat tekevät vähemmän valmiita elementtejä ja toisilla elementeistä ei puutu muuta kuin katemateriaali. Erityisen hyvä piirre on myös, että kaiteet voidaan myös asentaa jo maassa, jolloin työturvallisuus paranee huomattavasti. Kuvassa 13 on vesikattoelementin nostamista paikoilleen. [14.]



Kuva 13. Valmiin vesikattoelementin nostaminen [5].

Kuvasta 13 voidaan huomata nostettavan vesikattoelementin valmiusaste, joka on jo melko pitkällä. Valmiin kattorakenteen saamiseksi ei puutu muuta kuin katemateriaali sekä kattoelementtien liitoskohdat.

Nostotyöt on suunniteltava aina tarkkaan. Käytetäänkö nostamiseen konetta vai miesvoimaa, kasattavan elementin valmistuspaikka, rakennusosan valmiusaste ovat kaikki huomioitavia seikkoja. Lisäksi on aina huolehdittava työturvallisuudesta nostotyön aikana.

2.8 Eristeet

2.8.1 Mineraalivilla eli lasi- ja kivivilla

Mineraalivilla on yleisimmin käytetty lämmöneriste. Mineraalivillaeristeitä voidaan käyttää rakennuseristeinä, teknisinä eristeinä ja äänenvaimennustuotteina. Mineraalivillaeristeet muodostuvat epäorgaanisista kuiduista ja orgaanisesta sideaineesta. Yleisimmät mineraalivillat ovat kivi- ja lasivillat. Muita mineraalivilloja ovat kuonavilla ja siliikaattivilla. [15.]

Oikein asennettuna mineraalivilla muodostaa hyvän lämmöneristyksen. Eristämissyössä tulee kiinnittää huomiota eristeen tiiviiseen asennukseen siten, että eriste täyttää koko sille varatun tilan. Kuvassa 14 on esimerkki oikeaoppisesti asennetusta lämmöneristeestä.



Kuva 14. Mineraalivillalla eristetty seinärakenne [5].

Mikäli eriste ei täytä sille tarkoitettua tilaa, voi rakenteessa esiintyä lämpövuotoa. Ongelmia ei esiinny silloin kun pystytään käyttämään valmista villajakoa, joka yleensä on k600. Kun villaa joudutaan leikkaamaan pienempiin väleihin, voi rakenne jäädä epätiiviksi. Kuvasta 14 nähdään, miten jokaisen eristelevyn tulee täyttää villaväli.

Kivivilla on valmistettu emäksisistä kivilajeista ja lasivilla taas kvartsihiekestä, kalkkikivestä ja soodasta. Lasivilla on raaka-aineiltaan 50...60 % kierrätyslasia. Kaikki mineraalivillatuotteet on valmistettu käytön kannalta tarkoituksenmukaisiin vakiokokoihin, jotka vastaavat suomalaista rakentamista, kuten esimerkiksi runkojaon mukaan. [15.]

Kuituaine mineraalivilloissa on palamatonta, mutta lisäaineet palavia. Mineraalivillatuotteet on tyyppihyväksytty pinnoittamattomina palamattomiksi tai lähes palamattomiksi rakennustarvikkeiksi. Kun kyseessä on kohde, jossa on paloteknisesti vaativat olosuhteet, käytetään mineraalivilloja, joissa sideainetta on käytetty vähän tai ei ollenkaan. Lämmöneristävyys mineraalivillaeristeissä perustuu niiden huokoiseen rakenteeseen ja paikallaan pysyvän ilman alhaiseen lämmönjohtavuuteen. [15.]

2.8.2 Selluvilla eli puukuituvilla

Puukuitueristeitä on saatavana puhallettavana, ruiskutettavana sekä eristelevyinä. Puhallettavalle puukuitueristeelle soveltuvia käyttökohteita ovat puu- ja teräsrakenteisten ala- ja yläpohjien lämmöneristäminen. Puhallettavaa eristettä on mahdollista käyttää myös pystyrakenteiden lämmön- ja ääneneristykseen. Kuvassa 15 nähdään puhalletulla selluvillalla eristetty yläpohjarakenne. [16.]



Kuva 15. Yläpohjassa selluvillan muodostama tiivis eristekerros. [17.]

Kuvan 15 mukainen yläpohjan puhallusvilloitus muodostaa rakenteeseen tiiviin kerroksen ja työn laatuun voidaan luottaa. Nykyään puhallusvilloitusta käytetään myös lisäeristeenä esimerkiksi yläpohjan lämmöneristeiden lisäeristykseenä.

Asuinrakennusten lämmöneristeenä käytetään ruiskutettavaa puukuitueristettä. Sitä voidaan käyttää myös sileiden ja kovien pintojen päällä äänenvaimennustarvikkeena. Puukuitueristyslevyjä käytetään pääasiassa hirsi- ja pientalojen ylä- ja alapohjissa sekä seinärakenteiden lämmöneristyksessä. Tuulensuojalevyinä voidaan käyttää pontattuja eristyslevyjä. [16.]

Puukuitueristeitä voidaan valmistaa esimerkiksi selluloosasta, sanomalehtikeräyspaperista tai puuhiokkeesta. Eristeisiin lisätään palon- ja lahonestoaineita, ruiskutettavaan eristeeseen lisätään asennusvaiheessa kosteutta tarttuvuuden parantamiseen sekä äänenvaimennustuotteisiin sidonta-ainetta. [16.]

Puukuitueristeet kuuluvat palaviin rakennustarvikkeisiin ja ne palavat hitaasti kytemällä. Tulen etenemistä hidastavat eristeiden sisältämät palonsuoja-aineet, kuten boorimihneraalit sekä eristeen pieni ilmanläpäisevyys. [16.]

Eristeisiin lisätään lahonestoaineita, jotka estävät niiden alttiuden lahottajasierien aiheuttamille vaurioille sekä eristeessä että siihen kosketuksissa olevassa puussa. Puukuitueristeiden lämmöneristävyys perustuu niiden huokoiseen rakenteeseen, kykyyn sitoa ilmaa, pieneen ilmanläpäisevyyteen sekä lämmöneristävyteen vaikuttamattomaan kosteuskäyttäytymiseen. [16.]

2.9 Höyryn- ja ilmansulku

Ulkoilmaan rajoittuvan puurakenteisen rakenteen (ulkoseinät, yläpohja, alapohja) sisäpinta tulee tehdä mahdollisimman tiiviiksi, koska rakenteen sisään kulkeutuva mahdollinen lämmin sisäilma kuljettaa rakenteeseen kosteutta. Kosteutta rakenteen läpi pyrkii kuljettamaan myös ulko- ja sisäilman vesihöyryn osapaine-ero. Rakenteessa tiivistyvä kosteus on mahdollisten rakennevaurioiden aiheuttaja sekä lämmöneristeen eristyskyvyn alentava tekijä. Tästä syystä rakenteen sisäpinnassa käytetään yleensä erillistä höyrynsulkua. Kuvassa 16 nähdään rakennukseen asennettu valmis höyrynsulkupinta. [2.]



Kuva 16. Höyrynsulku asennettuna [18].

Yleisimpänä höyrynsulkuna käytetään muovikalvoa. Edellä esitetyssä kuvassa 16 on höyrynsulkuna käytetty Kalliomuovi Oy:n valmistamaa PEL-höyrynsulku- ja tiivistyskalvoa. Höyrynsulkukalvon tulee säilyttää tiiviytensä haurastumatta ajan kuluessa. Tavallista on käyttää juuri höyrynsulukuksi tarkoitettua 0,2 mm:n polyeteenikalvoa. Tavallista kosteampien tai kuumempien tilojen kuten saunan höyrynsulukuksi soveltuu alumiinifolio. Laminoitujen papereiden tiivistävänä kerroksena on muovikalvo tai alumiinifolio. Eräs tyyppi höyrynsulusta on muovipinnoitetut rakennuslevyt, joiden toinen pinta on päällystetty muovikalvolla. Tällaiset tuotteet on tarkoitettu lähinnä yläpohjan höyrynsulukuksi, jolloin se kannattaa myös lämmöneristeitä. [2.]

Saumakohdat höyrynsuluissa tiivistetään muoviteipillä, jonka myös on tiiviiden säilyttämiseksi kestävä haurastumatta. Tarkoitukseen valmistettu höyrynsulkuteippi on yleensä paras ratkaisu. Alumiinifolioteippiä täytyy käyttää alumiinifoliahöyrynsulkujen tiivistämiseen. Putkien läpiviennit ovat myös tärkeitä huomioitavia kohtia saumojen lisäksi. Nykyään saunarakenteissa voidaan käyttää myös eristelevyjä, joissa alumiinifolio on kiinnitetty eristeen pintaan. Kuvassa 17 saunan eristämiseen on käytetty SPU Systems Oy:n valmistamaa Sauna-Satu-eristelevyä. [19.]



Kuva 17. Sauna-Satu-eristelyvyillä eristetty saunan seinärakenne. [19.]

Tämäkaltaiset tuotteet ovat tilojen käytön kannalta tehokkaita, sillä ne mahdollistavat pienemmän eristemäärän, esimerkiksi mineraalivillaan nähden. Lisäksi levyjen työstäminen tilojen mukaisiksi on helppoa. [19.]

Mikäli rakenteen hengittävyys on riittävä siihen kulkeutuvan kosteuden poistamiseksi, voidaan sen pinnassa käyttää ilmansulkua. Ilmansululla tarkoitetaan ainekerrosta, jonka tarkoituksena on estää haitallinen ilmavirtaus rakennusosan läpi puolelta toiselle. Saman ainekerroksen on mahdollista toimia sekä ilman-, että höyrynsulkuna. Ilmansulkuvaihtoehtoina voidaan käyttää esimerkiksi kalvoa, levyä, ilmanpitävää solumuovieristettä tai betonirakennetta, joiden saumat on huolellisesti tiivistetty. [2.]

Lämmöneristeiden asentaminen rakenteeseen tulee suorittaa siten, että ne täyttävät niille varatun tilan mahdollisimman hyvin ja liittyminen ympäröiviin materiaalikerroksiin ja rakenteisiin on mahdollisimman tiivis. Jotta hyvä ilmanpitävyys saavutettaisiin, rakennusvaipan kaikkien osien ja niiden välisten liitosten tulee olla ilmanpitäviä. [2.]

2.10 Puurakenteiden liitokset

Puurakenteiden suunnittelussa ja toteutuksessa liitosten arkkitehtoninen ja tekninen toteutus nousee usein keskeiseksi tekijäksi. Puuliitokset voidaan toteuttaa usealla erilaisella tavalla, mikä tekee liitosten toteuttamista mielenkiintoista, mutta myös erittäin haastavaa. Teräслиitosten suunnitteluun verrattuna ovat puuliitokset vaativampia suunniteltavia. Puun käyttöä kantavissa rakenteissa lisää sen jatkosten ja liitosten teon helppous. [1.]

Puuliitokset muodostuvat kahdesta tai useammasta toisiinsa liitetystä rakenneosasta siten, että kun ulkoinen voima vaikuttaa liitokseen, vastustaa se osien irtoamista toisistaan tai liukumista toistensa suhteen. Kun tehdään liitoksia, jotka jäävät rakenteen sisään, ei liitostyyppillä ole suurta esteettistä merkitystä, silloin ainoastaan rakenne ja taloudellisuus määräävät käytettävän liitostyyppin. Kun halutaan käyttää kantavia rakenteita osana arkkitehtuuria, jätetään niiden liitokset näkyviin. Kantavilta rakenteilta palonkestävyyttä vaadittaessa, tulee metalliset liitoselimet yleensä asentaa puurakenteen sisään tai suojata ne esimerkiksi palonestomaalilla tai puuverhouksella. [1.]

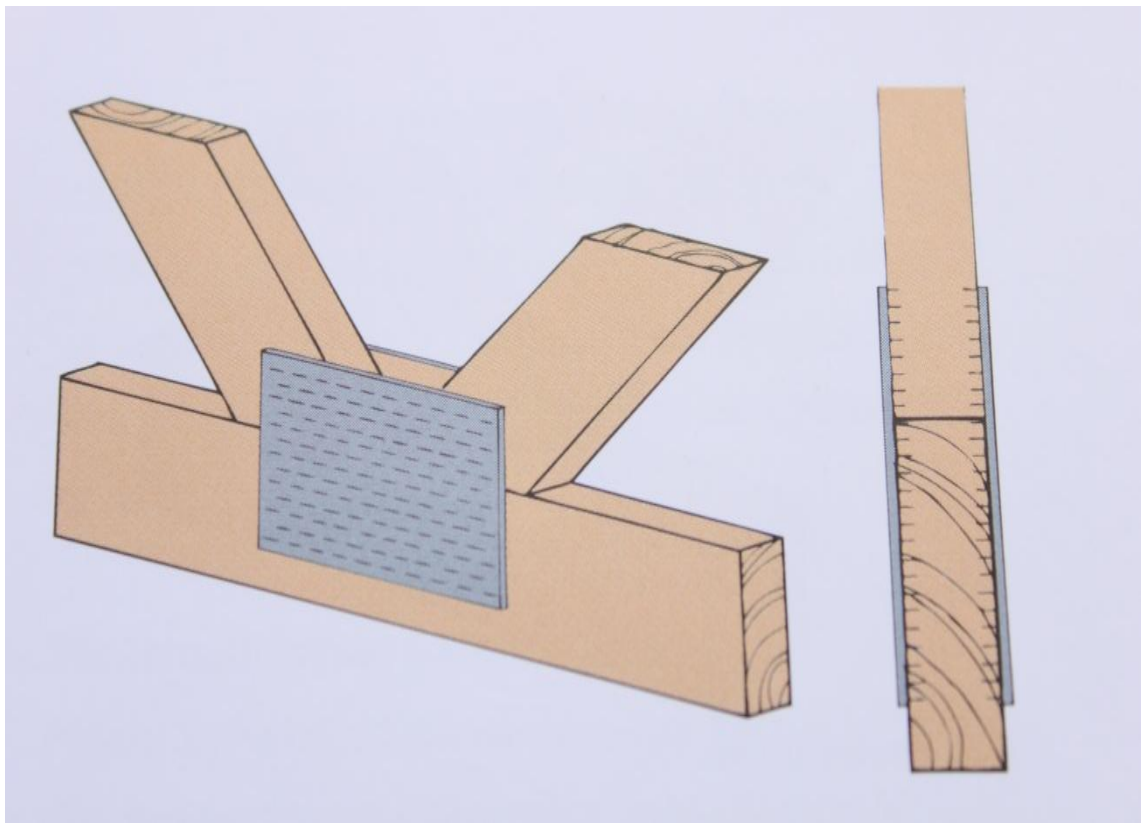
Työmaaolosuhteissa käytetään kantavien puurakenteiden liitostapoina puu-, naula-, pultti- ja vaarnaliitoksia. Naulalevyillä tai liimatuilla liitoksilla valmistettuja kantavia puurakenteita on mahdollista valmistaa vain määräysten mukaisilla laitteilla varustetuissa teollisuuslaitoksissa. Kantavissa rakenteissa liitosten toteuttamisessa on noudatettava rakennesuunnitelmia. Rakennesuunnitelmissa on määritelty päämitoitukset, puun lujuusluokat, jokaisen liitoskohdan naulojen, pulttien ja vaarnojen koot ja määrät sekä kaaviot liittimien tarkoista sijoituksista. [1.]

Liitokset voidaan jakaa hyväksymismenettelyn perusteella kolmeen pääryhmään:

- Normitetut liitokset, joille on olemassa puunormeissa rakenneohjeet ja suunnitteluarvot ja joita kuka tahansa voi valmistaa
- Erikoisselvityksen vaativat liitokset, jotka eivät ole puunormien mukaisia ja joilta rakennustarkastaja saattaa vaatia asiantuntijan lausunnon liitoksen varmistamiseksi
- Luvanvaraiset liitokset, joiden valmistustekniikalle, -olosuhteille ja -laitteille on asetettu suuret vaatimukset (esim. naulalevyliitokset ja liimatut liitokset).

Fysikaalisen toimintansa puolesta liitokset voidaan jaotella joko liimaliitoksiin tai mekaanisiin liitoksiin. Geometrisen muodon kautta jaottelemalla liitokset voidaan jaotella puskuliitoksiin ja lapaliitoksiin. Liittimistä jäykin on liima. Mekaanisissa liitoksissa voimat siirtyvät niiden kosketuspintojen välisten liittimien ja liitettävien materiaalien kautta. Puskuliitokset ovat yleensä teknisesti tehokkaita, liitosten lujuus on puun lujuuden luokkaa sekä epäkeskisyydet ovat pienet. Lapaliitokset ovat helppoja toteuttaa. Kuitenkin ongelmana joissain tapauksissa voi olla suuri epäkeskisyys ja pieni lujuus. [1.]

Naulalevyliitoksia käytetään pääasiassa puuristikoiden nurkissa ja jatkoksissa, korvaamaan aikaisemmin paljon käytössä olleita naulaliitoksia. Valittavana on useita erilaisia naulalevytyyppejä, mutta niiden erot ovat kuitenkin melko vähäiset. Naulalevyjen käyttö kantavissa rakenteissa yleensä on luvanvaraista. Naulalevyt muodostuvat 0,9-2,5 mm paksusta metallilevystä. Niitä käytetään liittämään kaksi tai useampia samanpaksuisia puuosaa toisiinsa. Piikkilevyt muodostuvat hitsaamalla liitetyistä piikeistä teräslevyyn. Piikkilevyt soveltuvatkin naulalevyjä paremmin järeisiin liitoksiin. Kuvassa 18 nähdään esimerkki naulalevyn käytöstä puuristikoiden liitoselimenä. [1.]



Kuva 18. Naulalevyliitos [1].

Perinteiset eli kosketusliitokset muodostuvat erilaisista tukiloveuksista, liitosloveuksista tai tapituksista, joiden käyttö perustuu joko puristusvoimien tai loveuksen ja naulojen yhteistyöhön. Liittimien tehtävä on pitää liitettävät osat paikoillaan puristusvoimien siirtyessä kosketuksella suoraan pinnalta toiselle. Näistä liitoksista on kokemusta ke-
rääntynyt jo vuosisatojen ajalta, siksi niitä voidaankin kutsua puutyöliitoksiksi ja kir-
vesmiesliitoksiksi. [1.]

Työmaalla hitaasti tehtäviä liitoksia, kuten vinonaulausta ja loveuksin tehtäviä puutyölii-
toksia korvaamaan käytetään pieniä tehdasvalmisteisia muotokiinnikkeitä. Niitä käyte-
tään yleensä pienten pilareiden, palkkien ja kattovasojen kiinnittämiseen. Ne voivat olla
kuhunkin käyttötarkoitukseen erikseen suunniteltuja yksinkertaisia, suoria teräslevyjä
tai hitsaamalla koottuja liitoselimä. Tavallisimpia käytettäviä paikkoja ovat pilari-
perustus, pilari-palkki, kaarien nivelet, jatkokset ja vetotangolliset puurakenteet. Muo-
tokiinnikkeiden tyyppi- ja kokovalikoima on kasvanut erittäin laajaksi. Työmailla esiinty-
vissä liitoksissa on vielä monta virheellistä toteutustapaa. Kuvassa 19 on alasidepuun
kulman liitoskohta. [1.]



Kuva 19. Rungon ja sokkelin liittymäkohta [6].

Kuvan 19 mukaisessa liitoskohdassa voidaan erehtyä virheelliseen toteutukseen, jos
puun kutistumista ei oteta huomioon. Alasidepuun väli on tässä tapauksessa tiivistetty

Inseal-kaistalla. Inseal-kaista on elastinen, jolloin se huomioi puun kutistumisen ja tiivistää liitoksen hyvin puun liikkumisesta huolimatta. Kyseisessä liitoskohdassa esiintyy paljon tiiveysongelmia ja kokemus liitosten toteutuksessa onkin tärkeää toimivan rakenteen kannalta. [5.]

2.11 Yhteenveto

Puurakentaminen on perinteinen ja paljon käytetty rakentamisen muoto. Puulla on hyvät lujuusominaisuudet, se on suhteessa kevyt materiaali ja tämän vuoksi esimerkiksi sen kuljettaminen on helppoa. Elementtimäisen rakentamisen toteutus edellyttää yleensä jo suunnitteluvaiheessa paikallarakennettua rakennusta paremman yhteistyön eri osapuolten kesken. Rakennusmuodon vaihtaminen voi olla mahdollista, esimerkiksi paikallarakennettavaksi tarkoitettu rakennus voidaan ilman suuria muutoksia toteuttaa elementtirakenteisena.

Puun käyttöä rajoittavina tekijöinä voidaan osittain pitää ympäristön ja puun kosteutta ja puun luokittelua palavaksi materiaaliksi. Koska puu tarvitsee kasvaakseen vettä, on tuoreen puun kosteuspitoisuus yleensä 80–200 prosenttia puun kuivapainosta. Mikäli rakennus on lämmitetty ja se on toteutettu rakenteellisesti oikein, puu säilyy lahoamattomana. Kosteusvaurioita voi esiintyä, mikäli rakenteet on suunniteltu kosteusteknisesti väärin tai materiaaleja on käytetty niille kuulumattomissa paikoissa. Rakennuksen sisäpuolinen kosteus ei myöskään aiheuta ongelmia, mikäli sen esteetön poistuminen on tehty huolella. Suuria saavutettavia hyötyjä puurakentamisessa on mahdollista saada sen ympäristöystävällisyydellä sekä sillä, että se kuuluu uusiutuviin luonnonvaroihin. Kaikki kyseiset ominaisuudet tekevät puusta tulevaisuuden materiaalin. [1.]

Puurakentamisen tulevaisuutta lisäävät uusiutuvat palomääräykset, jotka mahdollistavat puun käytön paloturvallisesti, jopa kahdeksaan kerrokseen asti. Suomessa tähän saakka yli 4-kerroksisen puukerrostalon rakentaminen on vaatinut toiminnallisen paloturvallisuustarkastelun. Tämä syy on käytännössä karsinut puurunkovaihtoehtoiseen rakennushankkeeseen ryhtymisen. Puurakentaminen on tällä hetkellä poliittisesti vahvassa myötätulessa. Valtiovalta ja kunnat ovat erittäin myönteisesti liikkeellä puurakentamisen suuntaan. Puuta pystytään käyttämään myös näkyvissä pinnoissa. Puurakentaminen on aidosti kotimaista rakentamista ja puun käytöllä voidaan tukea suomalaista työllisyyttä ja hyvinvointia. Puurakenteista saadaan todella kauniita ja kuvassa 20

on siitä tyylikäs esimerkki. Kuvan 20 kohde on Lahdessa Vesijärven rannalla Sibeliustalon vieressä sijaitseva Piano-Paviljonki.



Kuva 20. Arkkitehti Gert Wingårdhin suunnittelema Piano-Paviljonki. [20.]

Kilpailu betonirakentamisen kanssa tulee tiivistymään tulevaisuudessa. Betonirakentaminen Suomessa on hioutunut nopeaksi, sillä sitä on tehty meillä jo pitkään. Tulevaisuudessa kotimaassa puukerrostalorakentamisella voidaan päästä noin 6-8 viikkoa betonirakentamista nopeampaan rakennusprosessiin. Puurakentamisessa rakentamisen rytmitys on erilaista, sillä esimerkiksi puusta rakennettaessa ei tarvitse huolehtia kuivusajoista. [7.]

3 Rivitalon runkotyön toteutusmalli

Seuraavissa luvuissa esitellään työssä tutkittuja ratkaisuja kehittää puurunkotyön vakiomista ja sen suunnittelua. Käydään läpi työnsuunnittelun mallien kehitys ja toteutus sekä prosessikaavion muodostuminen. Viimeisenä vaiheena käsitellään mallien testauksesta saatuja tuloksia sekä lopuksi esitetään tehdyn tutkimuksen tulos.

3.1 Työnsuunnittelun mallin kehitys

Mallin kehitys aloitettiin kirjallisen tutkimuksen sekä oman tiedon perusteella. Tehtäviksi työohjeiksi muodostui kaksi kokonaisuutta. Toisen kokonaisuuden muodostavat yksittäisten rakenneosien työohjeet, kuten vesikattorakenteet, runkoelementit, välipohja, yläpohja sekä kantava huoneistojen välinen seinä. Toisen kokonaisuuden muodostavat rakenneosien liittymäkohdat, kuten runkoelementtien ja välipohjan liitos, runkoelementtien ja yläpohjan liitos, väliseinän ja välipohjan liitos sekä väliseinän ja yläpohjan liitos.

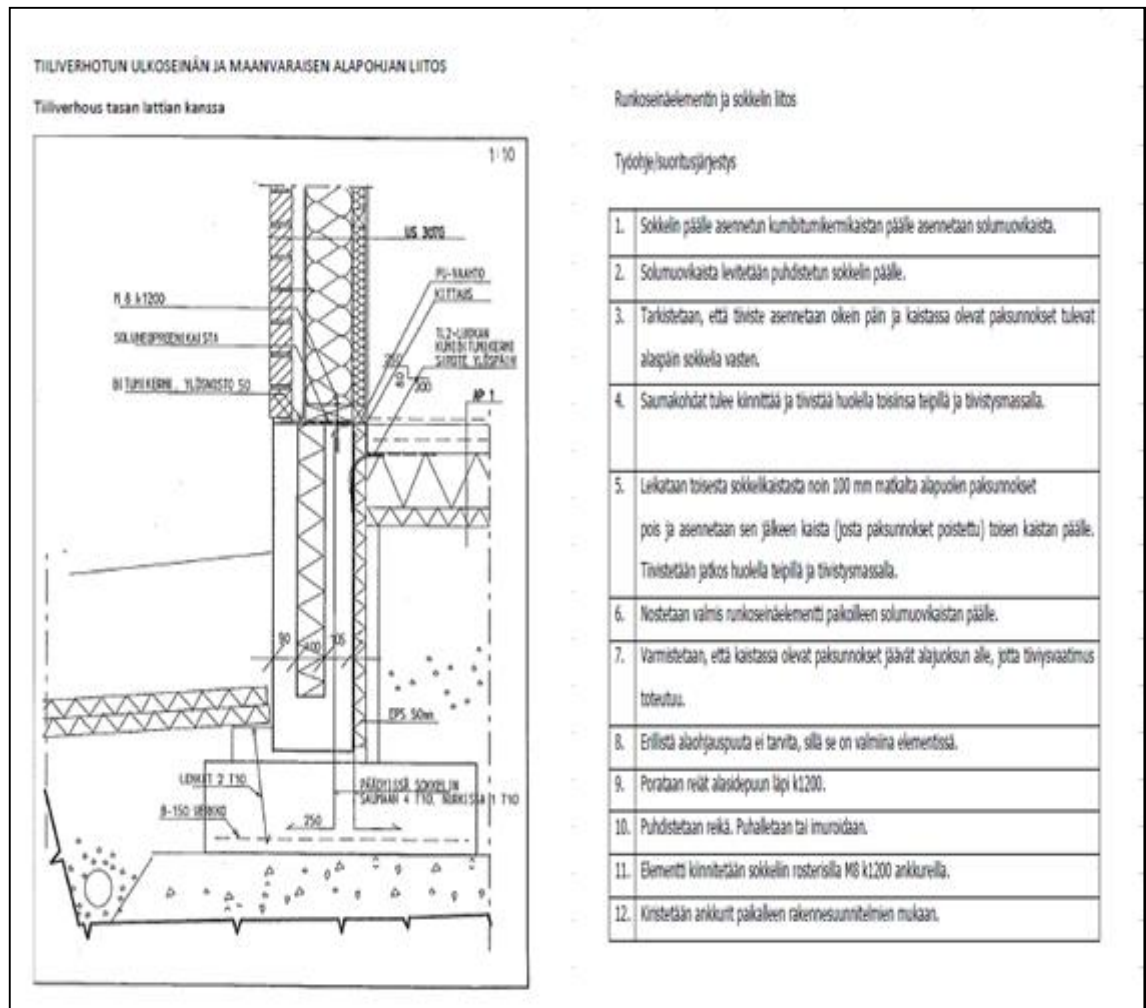
Kuhunkin työohjeeseen on tarkoitus kirjoittaa yksittäisen työvaiheen kaikki osat yksityiskohtaisesti läpi sekä varmistua siitä, että suoritusjärjestys on oikea. Työvaiheisiin sisältyy myös käytettävät materiaalit ja kuva kyseisestä työstettävästä kohdasta. Kuviin kokoa ja sijoitusta täytyy harkita tarkkaan sekä koko mallin ryhmittelyä.

3.2 Mallin toteutus

Työvaiheista työstettiin ensimmäiset versiot kirjallisuuden, työnjohdon haastattelun sekä oman tietämyksen pohjalta. Lisäksi tutkittiin kohteen piirustuksia, kuten elementtikaavioita, rakennetyyppejä, sekä muita saatavilla olevia piirustuksia kohteesta. Liitteinä 1-5 on kohteen työohjeiden laatimisen kannalta tärkeimmät rakennekuvat. Rakennekuvien tutkimisella on ollut suuri merkitys työn onnistumisen kannalta.

Työohjeiden pohjaratkaisu ei alun perin ollut täysin selkeä ja sen parasta ja toimivinta mallia täytyi etsiä melko pitkään. Kussakin työsuunnitelmassa tulisi olla tarkka kuva työvaiheesta, tarkat yksityiskohtaiset ohjeet sekä käytettävät materiaalit. Kuvan sijoittelu osoittautui erityisen hankalaksi. Ensimmäinen versio muodostui kahdesta sivusta,

jossa ensimmäisellä sivulla on työvaiheen kuva ja toisessa työsuoritus-ohjeosio. Kuvassa 21 ensimmäinen versio työohjeen pohjaratkaisusta.



Kuva 21. Ensimmäinen versio työohjeiden mallista.

Seuraavassa vaiheessa mallista muodostui kolmesivuinen kokonaisuus. Mallin ensimmäisen sivun yläosaan on sijoitettu yleistiedot rakennuskohteesta sekä rakennusosasta, johon työohje sijoittuu. Ensimmäisellä sivulla on myös itse ohje-osa, jossa jokainen työvaihe on käyty yksitellen läpi.

Toinen sivu muodostuu työvaiheeseen liittyvistä kuvista. Ensimmäisellä sivulla on viitattu kussakin työvaiheessa siihen liittyvään kuvaan ja toiselle sivulle on sijoitettu viittausten kuvat. Toiset työvaiheet vaativat enemmän kuvia kuin toiset. Parhaat kuvat ohjeisiin saadaan paikan päällä otetuista valokuvista. Kolmannella sivulla on tilaa virheilmoituksille, jos työvaiheissa huomataan virheitä. Kuvassa 22 mallin toinen versio.

tään kyseisen vaatimuksen täyttyminen. Alapuolella on tilaa virhemerkinnöille ja allekirjoituksille, valmista tarkastettua työtä varten. Valmiit työohjeet ovat liitteinä 6-12.

3.3 Toteutetut työvaiheet

3.3.1 Rakenteet

Tässä luvussa käydään läpi kaikki työohjeita koskevat rakenteet. Rakenteet käydään läpi sillä tavalla, miten ne esimerkkikohteessa tullaan rakentamaan. Rakenteet toteutetaan kahden miehen työryhmissä. Yksi työryhmä alkaa kasata runkoseinäelementtejä, toinen väliseinäelementtejä sekä kolmas välipohjaelementtejä. Rakentaminen aloitetaan päätyseinistä ja jatketaan kohti toista päätyä. Elementtien valmistamista varten rakennetaan työpöytä, johon myös tehdään katos säätä vastaan. Kuvassa 23 sääsuojattu työpöytä, jossa elementtien materiaaleja on helppo työstää.

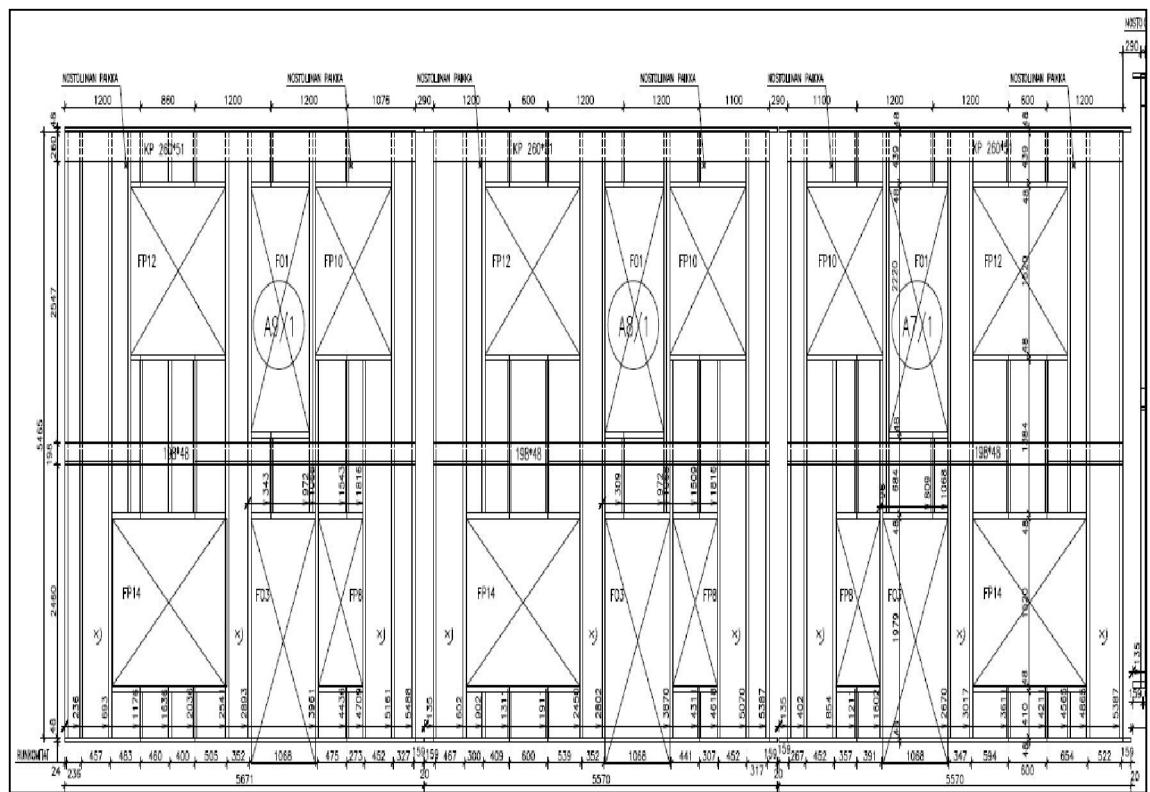


Kuva 23. Sääsuojattu katos [5.]

Kunkin rakenteen toteutussuunnitelma kehittyi useiden haastatteluiden ja yhteistyön tuloksena. Ensimmäiset versiot suoritusosioista eivät loppujen lopuksi muuttuneet kuin pieniltä osilta.

Runkoelementit

Runkoelementtien työohje on liitteenä 6. Runkotyön ensimmäinen vaihe on runkoelementtien rakentaminen sekä asennus. Runkoelementeistä on tilattu piirustukset rakennesuunnittelijalta. Runkoelementin esimerkkipiirros löytyy liitteestä 5. Piirustuksista tulee selvitä elementtien nostokohdat, elementtien painot, tarvittava mitoitus sekä levytysjako. Elementtien suunnitelmiin ei kuulu valmista materiaaliuetteloa, josta työmaa näkisi esim. kaikki tarvittavat kappaleet luettelona. Työmaan täytyy tehdä aluksi suunnitelma hankittavista materiaaleista. Elementtien toteutus tulee suunnitella siten, että valmista elementtiä ei tarvitse käänellä tai liikuttaa turhaan. Rakennustarvikkeet elementtien valmistamista varten on tilattu pääosin määrämittaisina. Kaikki rungon osat lukuun ottamatta ikkunan alapuolisia osia sekä ikkunan kohdan muita osia ovat määrämittaan katkaistuja. Kaikki lovet tehdään työmaalla. Kuvassa 24 on runkoelementin detaljikuva. Valmiissa työohjeessa liitteessä 6 on käytetty myös vastaavanlaista kuvaa.



Kuva 24. Runkoelementin detalji. [5.]

Elementit kootaan valmiiksi pedin päällä maassa ja nostetaan paikoilleen valmiina. Ensimmäisenä rakennetaan päätyseinäelementti. Koko päätyseinä muodostuu yhdestä elementistä. Valmistettavat elementit ovat kahden kerroksen korkuisia. Elementtien valmistus aloitetaan loveamalla osat piirustusten mukaisesti. Rungon osat järjestetään oikeille paikoilleen piirustusten mukaan. Osat kiinnitetään toisiinsa naulapyssyllä suunnitelmien mukaisesti. Naulojen määrät määrittyvät rakennesuunnitelmien mukaan. Jäykistyksen lisäämiseksi elementtien keskellä on jatkettu koko matkalle jäykistävä osa parveikkeiden lattian ja sisääntulokatosten tueksi. Rungon kokoamisen jälkeen asennetaan tuulensuojalevyt paikoilleen ja kiinnitetään huopanaulapyssyllä rakennesuunnitelmien mukaisesti. Valmis elementti asetetaan odottamaan nostoa. Elementit asennetaan paikalleen nosturilla. Nostoliinon paikat on merkitty elementtisuunnitelmaan ja tätä suunnitelmaa tulee noudattaa. Elementit tuetaan toisiinsa yläpäästä yläjuoksun alle asennettavalla puukapulalla sekä nauloilla.

Runkoelementtien toteuttamismahdollisuuksiin liittyy monta erilaista huomioitavaa seikkaa. Jotta elementeistä saataisiin mahdollisimman suuri hyöty irti, tulisi elementit suunnitella siten, että ne olisivat mahdollisimman yhdenmuotoiset. Yhdenmuotoisuudella säästetään elementtien valmistusaikaa sekä syntyvää materiaalihukkaa. Esimerkiksi ikkunoiden sijoitus tasaisesti päällekkäin on toteutuksen kannalta huomattavasti parempi ratkaisu kuin niiden limittäminen. Hankalaksi asian muodostaa rakennusten arkkitehtuurillinen suunnittelu, sillä tällaiset ratkaisut eivät varmastikkaan ole suunnitteluvaiheessa pääpainona. Parhaan ratkaisun saavuttamiseksi tulisi jo suunnitteluvaiheessa olla mahdollisimman tietoinen suunnitelmien toteutukseen liittyvistä seikoista.

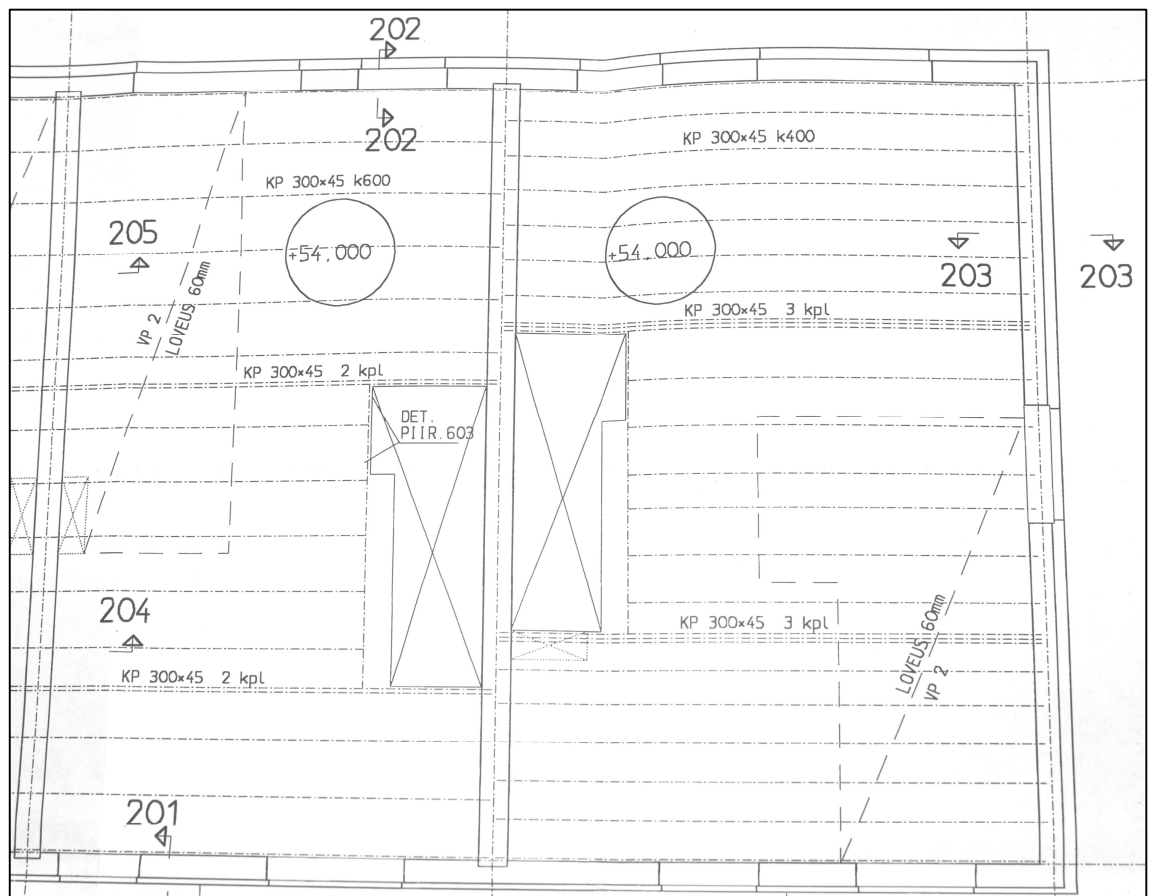
Välipohja

Toinen vaihe on välipohjan asennus. Välipohjatyön suorittaa kahden miehen työryhmä runkoelementtien kanssa samanaikaisesti. Välipohja kootaan maassa ja nostetaan paikoilleen. Välipohjien kertopuupalkit ja kapulat on tilattu määrämittäisinä työmaalle. Myös kaikki loveukset on tilattu valmiina. Holvin päällä asetellaan kertopuupalkit oikeaan jakoon. Palkkien väleihin asennetaan taipumaa tasaavat välikapulat. Seuraavaksi asennetaan pontatut havuvanerilevyt paikoilleen pintaviilu kohtisuoraan palkkeihin nähden. Levyt kiinnitetään ruuveilla ja liimaalla.

Aukkojen reunoille asennetaan 3 kpl kertopuupalkkeja asunnon oikeaan reunaan.

Muissa vastaavissa kohdissa asuntoa aukkojen reunoille asennetaan 2 kpl kertopuupalkkeja vierekkäin.

Välipohjien työhjeiden kohdalla nousi esille ongelma kuvan sijoittamisella työhjeeseen. Välipohjista on joka rakennukseen erilliset piirustukset, jolloin joka tapauksessa joudutaan työn aikana tutkia myös muita piirustuksia kuin työhjeeseen sijoitettavaa. Työhjeeseen päädyttiin laittamaan esimerkkikuva välipohjasta, josta käy ilmi yleisperiaatteet. Kuvassa 25 on työhjeeseen sijoitettu rakennedetalji.



Kuva 25. Välipohjadetalji. [5.]

Valmiit elementit nostetaan paikoilleen ja kiinnitetään metallisilla muotokiinnikkeillä. Kyseisessä kohteessa valmistetaan kaksi kappaletta välipohjaelementtejä maassa pedin päällä, jotka sijoitetaan rakennuksen kummallekin päätyreunalle. Tämän jälkeen keskelle jäävä aukko rakennetaan paikan päällä ylhäällä umpeen ja edetään huoneistokoh-
taisesti eteenpäin.

Väliseinäelementit

Yhtäaikaaisesti runkoseinäelementtien ja välipohjaelementtien kanssa, yksi työryhmä valmistaa väliseinäelementtejä. Väliseinäelementtien valmistamisen suorittaa myös kahden miehen työryhmä. Väliseinät kootaan holvilla ja nostetaan paikoilleen. Aluksi rakennetaan pohja elementtien valmistusta varten esimerkiksi ratapölkyistä. Alasidepuu asennetaan vatupassiin. Runkosoiron pää tulee olla täysin suorakulmainen, jolloin se jakaa kuorman koko alasidepuulle. Seinän runkotolpat asetetaan paikalleen oikeaan jakoon, joka yleensä on k600. Runkosoivot kiinnitetään toisiinsa vinoreivauksin. Runkotolpat kiinnitetään alasidepuuhun naulapyssyllä, naulojen määrät tulee tarkistaa rakennesuunnitelmista. Runkotolpat kiinnitetään yläsidepuuhun vastaavalla tavalla kuin alasidepuu.

Seinärakenne tuetaan rakennesuunnittelijan laatiman nostosuunnitelman mukaisesti. Tuenta voidaan suorittaa esimerkiksi vinositeillä sekä keskiosaan asetettavilla siteillä. Seinärakenne nostetaan paikalleen kahden työmiehen voimin. Noston aikana on huolehdittava turvallisesta suorittamisesta ja varmistuttava siitä, ettei elementti pääse kaatumaan. Seinärakenne kiinnitetään alasiteestä laattaan. Ennen verhousten kiinnittämistä tarkistetaan rakenteiden suoruus ja tarvittaessa oikaistaan väärät puut. Lappeensa suuntaisesti kääntynyt soiro tulee oikaista esimerkiksi käsin painamalla ja väliaikaisella tuennalla. Pahasti kieroitunut soiro täytyy poistaa ja vaihtaa uuteen.

Vesikattoelementit

Vesikattoelementtien kappaleessa työvaiheet esitetään myös kuvina suoraan työmaalta. Kyseiset kuvat eivät ole esimerkkikohteesta, sillä kohteen vesikattoelementtien valmistus ei ehdi tämän opinnäytetyön aikatauluun. Kappaleen kuvat on otettu NCC:n Orkidean rivitalotyömaalta ja esimerkkikohteesta vesikattoelementtien valmistus suoritetaan pitkälti samalla tavalla. Vesikattoelementtien rakentaminen kyseisessä kohteessa suoritetaan maassa esim. ratapölkyistä tehdyn pedin päällä. Elementit kootaan valmiiksi maassa ja nostetaan paikoilleen valmiina elementteinä. Aluksi varmistetaan, että valmistettaville elementtiosioille on varattu tarpeeksi tilaa ja kaikki tarvittavat materiaalit on työnsuorituspaikalla. Jos elementit rakennetaan hieman kauempana kohteesta, on varmistuttava, että ne ovat nosturin ulottuvilla. Elementit valmistetaan yksi nostet-

tava lohko kerrallaan. Valmistettavat lohkot ovat asuntokohtaisia ja niiden koko vaihtelee eri kohteissa. Kuvassa 24 nähdään esimerkki mahdollisesta valmistuspedistä, sekä nostetut elementit pedin vierellä.



Kuva 24. Ristikoita valmistettu aluspeti. [5.]

Itse rakentaminen aloitetaan tekemällä valmistettaville elementeille pohja, esimerkiksi ratapölkyistä. Alustan päälle järjestetään naulalevyristikot rakennesuunnitelmien mukaiseen jakoon. Ristikot kiinnitetään toisiinsa ristikkopiirustusten mukaisin reivauksin. Tämän jälkeen kiinnitetään laudat vinoittain yläpaarteen alapintaan. Tarvittaessa kiinnitetään ristikkoihin lisäreivauksia. Ristikkojen tuenta on todella tärkeää suorittaa suunnitelmien mukaisesti, sillä juuri tarpeellisten tuentojen puuttuminen voi johtaa kattorakenteen sortumiseen. Liian vähäinen tuenta aiheuttaa sen, että rakenteella ei ole suunnitelmien mukaista jäykkyyttä tarvittavaa kuormaa vastaan. Kuvassa 25 ristikoita on alettu kiinnittää toisiinsa. Oikealla puolella nähdään ristikoiden jakoa varten tehty mallikappale, jonka avulla jako on helppo pitää oikeana.



Kuva 25. Ristikoiden kasaamista mallikappaleen avulla. [5.]

Seuraavaksi ristikoiden keskiosaan kiinnitetään kulkusillan muodostavat puut. Yläpohjan lämmöneristyksen muodostavat 400 mm:n kerros puhallusvillaa sekä 100 mm:n kerros levyvillaa. Kulkusilta tehdään noin 600 mm:n päähän kattotuolien alapaarteesta, jolloin puhallusvillan ja kulkusillan väliin jää 100 mm tilaa. Naulalevyristikoiden kylkeen kiinnitetään 2x4 lankut, joiden päälle kiinnitetään kulkusillan muodostavat lankut sormiraolla. Kulkusilta ulotetaan koko yläpohjan matkalle, jolloin tarvittavien huolto- ja kunnostustoimenpiteiden tekeminen on helppoa. Kulkusillat voidaan tehdä myös suoraan ristikoiden alapaarteiden päälle, jos sellainen on ristikkorakenteen vuoksi mahdollinen. Kuvassa 26 esitetään vaihtoehto, jossa kulkusillat tehdään suoraan alapaarten päälle.

Yläpohjarakenteeseen tulee tehdä palokatkot rakennesuunnitelmien mukaan. Palokatkot levytetään suunnitelmien mukaan. Seuraavaksi asennetaan tuulensuojalevyt. Kiinnitetään rimat kattotuoleihin, joihin tuulensuojalevyt kiinnitetään runkonaulaimella. Tuulen suojalevyjen mahdolliset raot tiivistetään uretaanilla. Räystäslaudat kiinnitetään paikoilleen. Seuraava vaihe on aluskatteen asennus. Aluskatteen tulee olla kondenssi- ja homesuojattu sekä diffuusioavoin. Aluskate tulee limittää vaaka- ja pystysaumoissa vähintään 150 mm. Aluskatetta ei saa kiristää liikaa, vaan kireyden suhteen on noudatettava valmistajan ohjetta. Pituussuunnassa jatkokset tehdään kattotuolien kohdalle. Kattotuolien kohdalle aluskatteen päälle asennetaan vähintään 30 mm korkeat tuuletusrimat. Asennettua aluskatetta nähdään kuvassa 26 oikealla puolella.



Kuva 26. Vasemmalla puolella kulkusilta ja oikealla aluskatetta asennettuna. [5.]

Asennetaan ruoteet harjalle sekä räystäälle umpilaudoituksena ja ristikoiden keskelle harvalaudoituksena. Ruoteiden asennus tulee aloittaa alaräystäältä. Ennen elementtien nostamista asennetaan puupalkitukset tuen varmistamiseksi.

Elementtien valmistaminen maassa on nopeampaa ja tehokkaampaa kuin korkealla katolla työskenteleminen. Lisäksi työturvallisuus paranee huomattavasti, sillä tippumisvaaraa ei ole ja myös kaiteet on mahdollista asentaa maanpäällä. Lopuksi valmis elementti nostetaan paikoilleen ja kiinnitetään rungon ulkoseinäelementtiin. Kiinnitys tapahtuu molemmin puolisilla kulmalevyillä, jotka naulataan 3+4 kappaleella nauloja molemmin puolin.

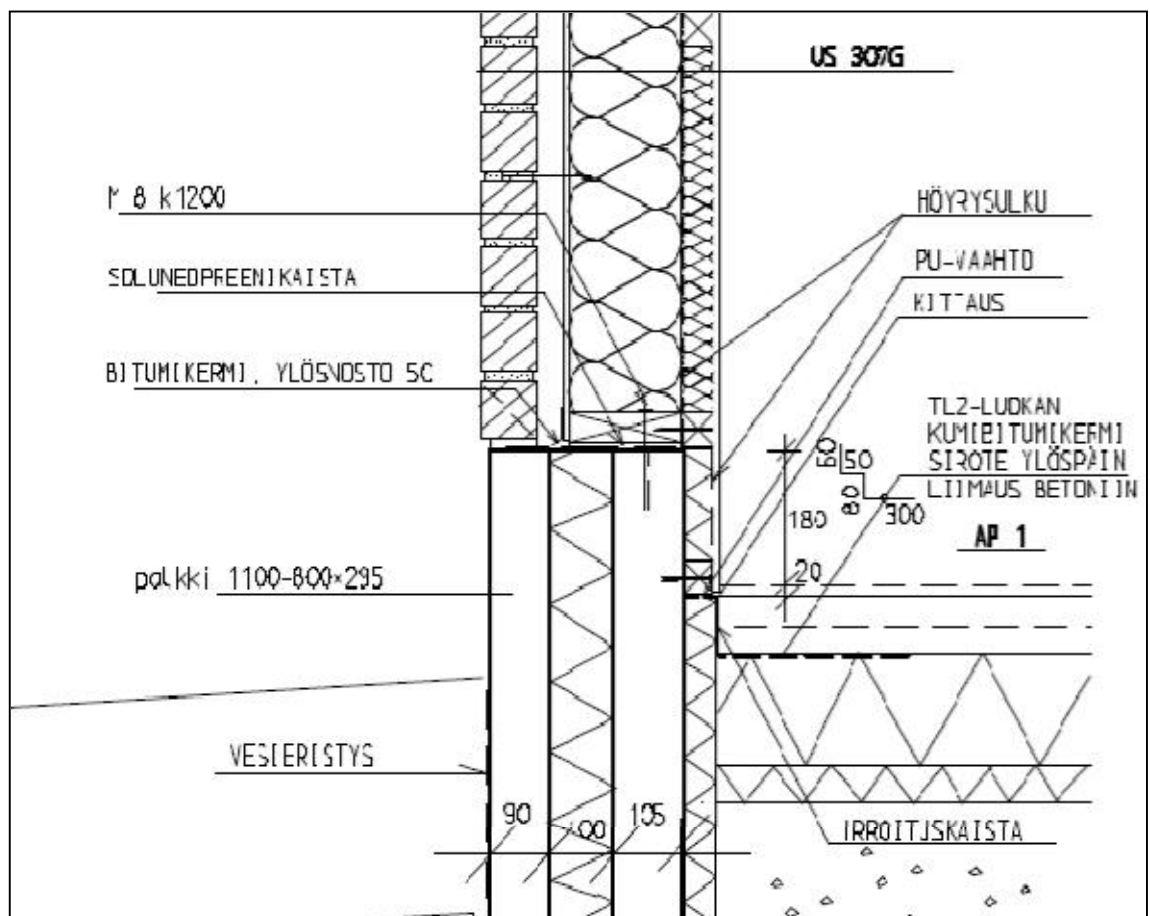
3.3.2 Liitokset

Työohjeiden pohjaratkaisun selvittyä siirrettiin kaikki saatu tieto oikeaan pohjaan. Valmiisiin työohjeisiin lisättiin kohta, josta ilmenee, mistä kohteen talosta on kyse. Ilman tätä työohjeet olisi täytynyt tehdä jokaiselle kohteen talolle erikseen ja paperityön määrä lisääntynyt. Tällä ratkaisulla samaan lomakkeeseen voidaan tehdä kaikkien talojen merkinnät. Lisä sivu työohjeeseen lisättiin kuitenkin mahdollisten virheiden vuoksi. Virheet voidaan merkitä etusivulle ja selittää tarkemmin toisella sivulla.

Runkoseinäelementin ja sokkelin liitos

Aluksi sokkelin päälle asennetun kumibitumikermikaistan päälle asennetaan solumuovikaista. Solumuovikaista levitetään puhdistetun sokkelin päälle. Solumuovikaistasta tulee tarkistaa, että tiiviste asennetaan oikein päin ja kaistassa olevat paksunnokset tulevat alaspäin sokkeliä vasten.

Saumakohdat tulee kiinnittää ja tiivistää huolella toisiinsa teipillä ja tiivistysmassalla. Leikataan toisesta sokkelikaistasta noin 100 mm matkalta alapuolen paksunnokset pois ja asennetaan sen jälkeen kaista (josta paksunnokset poistettu) toisen kaistan päälle. Tiivistetään jatkos huolella teipillä ja tiivistysmassalla. Kuvassa 26 on rakennedetaljikuva runkoseinäelementin liitoskohdasta sokkeliin. Sama kyseinen kuva 26 on myös valmiissa työohjeessa liitteessä 10.



Kuva 26. Runkoseinäelementin liitos sokkeliin. [5.]

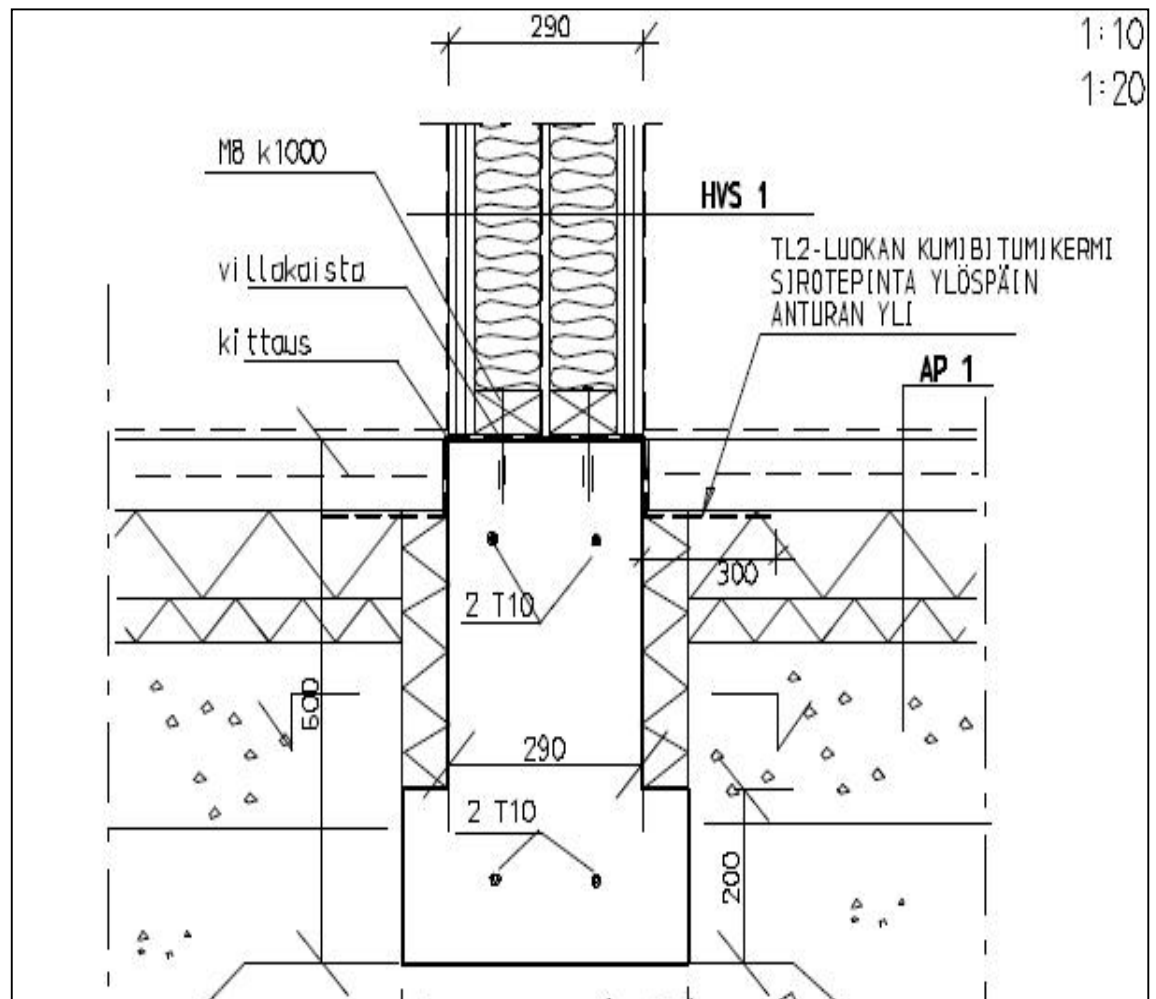
Nostetaan valmis runkoseinäelementti paikoilleen solumuovikaistan päälle. Nosto tulee suorittaa nopeasti sokkelikaistan asentamisen jälkeen, ettei runkoseinäelementin ja sokkelin väliin pääse epäpuhtauksia tai lunta. Varmistetaan, että kaistassa olevat pak-sunnokset jäävät alajuoksun alle, jotta tiiviysvaatimus toteutuu.

Kyseisessä kohteessa runkoseinäelementit on suunniteltu niin, että erillistä alaohjaus-puuta ei tarvita, sillä se on valmiina kiinni elementissä. Seuraavaksi porataan reiät ala-sidepuun läpi. Juuri porattu reikä puhdistetaan tai imuroidaan. Elementti kiinnitetään sokkeliin rosterisilla ankkureilla. Lopuksi kiristetään ankkurit paikalleen rakennesuunni-telmien mukaan.

Samasta liitoskohdasta on tässä työssä esitetty aikaisemmin työmaalla otettu kuva 19. Kuvassa 19 alasidepuun ja sokkelin liitoskohta on erotettu toisistaan Inseal-kaistalla, josta kerrotaan tarkemmin seuraavassa kohdassa.

Väliseinän ja sokkelin liitos

Väliseinän ja sokkelin liitoskohta tehdään pääpiirteittäin samalla tavalla kuin runkosei-näelementin ja sokkelinkin liitos. Ensimmäisenä kumibitumikermikaistan päälle asenne-taan tiivistekaista varmistamaan liitoksen tiiveys, sekä mahdollistamaan alasidepuun täsmällisen vaakasuoran asennuksen. Kohteessa harkittiin myös Inseal-kaistan käyttöä kermin ja alasidepuun välissä. Kyseinen kaista on elastista ja sitä käytetään usein myös alasidepuiden välissä rakennuksen nurkissa estämään lämpövuotokohtien syntyminen puun kutistuessa. Inseal-kaistaa on käytetty myös korvaamaan kokonaan kermi, mutta tässä kohteessa kaista asennetaan kermin päälle. Kootun väliseinäelementin paikoilleen nostamisen jälkeen työ ei eroa runkoseinäelementin asentamisesta. Ainoastaan poraus ja kiinnitys tehdään harvemmallalla jaolla, väliseinän kohdalla käytetään k1000 jakoa. Kuvassa 27 on kyseisen liitoksen rakennedetalji.



Kuva 27. Väliseinän liitos sokkeliin. [5.]

Kuvaan 27 on merkitty alasidepuun alle vielä virheellisesti villakaista, ja se on korjattu lopullisessa työohjeessa, joka on työssä liitteenä 11.

Ulkoseinän ja väliseinän liitos

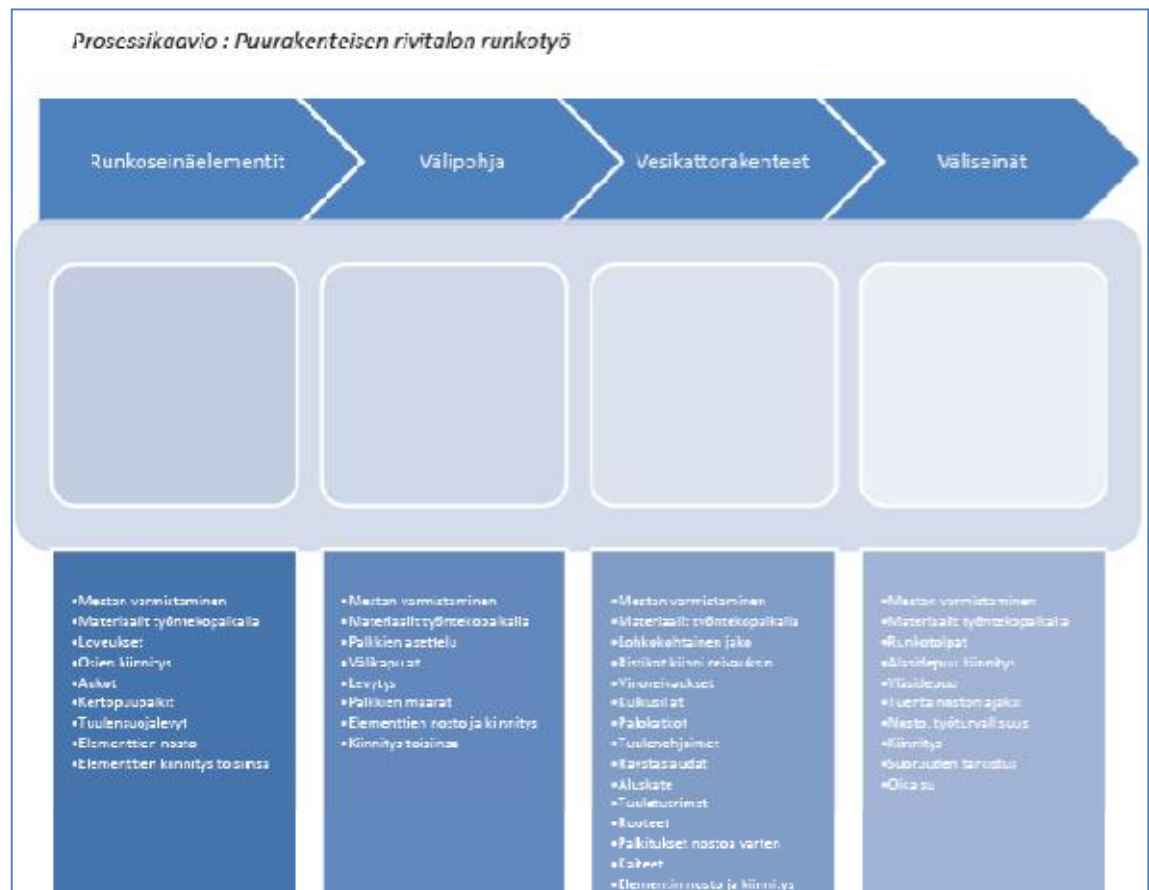
Ulkoseinälinja tulee olla tehtynä täysin valmiiksi ennen liittymäkohdan tekoa, lukuunottamatta muurausta. Ulkoseinärakennetta avataan tarpeeksi, jotta saadaan ulkoseinän pieli puut asennettua ja myös pieli puun läpi tarpeelliset naulaukset. Poistetaan levystä palat sekä villoitusta tarvittava määrä. Pieli puut asennetaan paikoilleen. Pieli puiden asennuksen jälkeen voidaan villoitus asentaa takaisin paikoilleen. Höyrynsulun tulee säilyä yhtenäisenä koko rakenteen läpi. Asennetaan levyt puskuun ja kiinnitetään runkotolpat pieli puihin. Valmiin rakenteen levyjen reunat tulee kitata huolellisesti. Kuvassa 29 esitetään ulkoseinän liitosdetalji väliseinärakenteeseen.



Kuva 29. Väliseinän liittyminen ulkoseinään. [5.]

3.4 Toimintamalli

Toimintamallissa kuvataan koko runkotyön vaiheet alusta loppuun. Kaavion tarkoituksena on luoda kokonaiskuva koko runkotyön suorittamisesta ja erityisesti kuvata työn suorittaminen oikeassa järjestyksessä. Kaaviossa esitetään oleelliset työvaiheet ja niihin kuuluvat työt. Jokaiseen vaiheeseen liitetään kuva työvaiheesta. Kuvassa 28 esitetään ensimmäinen versio toimintamallista.



Kuva 28. Alustava versio toimintamallista

Alustava toimintamalli luotiin tehtyjen työohjeiden avulla. Työohjeet sijoitettiin toimintamalliin oikeaan järjestykseen omille paikoilleen. Kaavion tiedoista karsittiin pienimmät osat ja keskityttiin kunkin kyseisen tehtävän pääkohtiin. Lopulliseen kaavioon liitetään kaikkien työohjeiden liite, josta sen voi avata. Kaavion kohdat käytiin läpi työmaalla ja toteutusjärjestystä tarkasteltiin.

Lopputuloksena saatiin aikaan kaavio, joka käsittää koko rakennuksen runkotyön vaiheet. Kaaviossa on selkeässä muodossa nähtävänä kaikkien työvaiheiden tärkeimmät kohdat. Aikaisempaan versioon lisättiin loput runkotyön kohdat. Lisäksi kiinnitettiin huomiota työjärjestykseen, sillä useita työvaiheita suoritetaan yhtäaikaaisesti. Lopullinen valmis koottu toimintamalli löytyy työstä liitteenä 13.

3.5 Yhteenveto

Lopullisista työohjeista saatiin kehitettyä halutunlaiset kokonaisuudet. Tässä työssä valmistuneet ohjeet ovat käyttökelpoisia tulevaisuudessa samankaltaisissa kohteissa. Vaikka kohde ei olisikaan rungoltaan samanlainen, voidaan ainakin osaa ohjeista hyödyntää, kuten vesikattoelementtien työohje, runkoelementtien ohje jne. Työohjeiden hyvät puolet nousivat esille työn edetessä. Työohjeet tarjoavat suuren avun käytäessä läpi alkavaa työtä. Työohje läpi käymällä voidaan välttyä työn aikana esille tulleilta toteutuksellisilta epäselvyyksiltä. Rakenteen toteutus on hyvin selkeänä jo ennen varsinaisen työn aloittamista. Uusia työntekijöitä perehdytettäessä työohjeet ovat hyvä apu ja selkeyttävät perehdytysprosessia kyseiseen tehtävään.

Tuloksena syntynyt toimintamalli tarjoaa hyvän työkalun koko runkotyön kattavalle ymmärtämiselle. Kaavio toimii hyvänä välineenä kokonaisuuden läpi käymisessä ennen varsinaista työn aloittamista. Toimintamalli toimii myös hyvänä yleisenä opetusvälineenä puurakentamisesta.

Runkotyö suoritetaan melkein aina omilla työmiehillä, mutta rakenteeltaan vastaavanlaiset työohjeet, muusta aliurakoitsijoilla suoritettavasta työstä auttavat työnjohtoa selvittämään aliurakoitsijalle, miten työ halutaan suoritettavaksi. Yksinkertaisen ulkomuodon vuoksi työohjeet toimivat tehokkaana apukeinona, eivätkä tunnu turhalta lisäpaperityöltä. Valmiita työohjeita ja toimintamallia tullaan vielä tulevaisuudessa kehittämään ja toimivin malli löytyy työnjohtajien testauksen kautta.

4 Työohjeiden testaus

4.1 Kohteen esittely

Tutkimuksen kohteena on As Oy Espoon Ylämylly. Kohde sijaitsee Espoon vesirattaanmäessä, johon viisi rivitaloa rakennetaan kukkulan laelle. Taloyhtiö tulee muodostumaan 35 asunnosta, jotka sijaitsevat 5:ssä eri rakennuksessa. Rakennuksista neljä ovat 2-kerroksisia ja yksi 3-kerroksinen rakennus. Asuinhuoneistoala on 3051 m², kokonaisala 4114 m², tilavuus 12150 m³.



Kuva 29. Mallinnettu kuva As. Oy Espoon Ylämyllystä [5].



Kuva 30. Kohteen julkisivut [5].

Tontin pinta-ala on 9148 m² ja kaavassa osoitettu rakennusoikeus 3600 m². Kantavat rakenteet rakennuksessa ovat pääosiltaan puurunkoisia, julkisivut tiili- ja puuverhoiltuja. Rivitalokohde tulee olemaan A-energialuokkaa. Tämä tarkoittaa, että talojen rakenteet täytyy olla erittäin tiiviitä ja eristysten paksuja. Ilmanvaihdon merkitys taloissa on suuri.

4.2 Testauksen menetelmät

Tämän opinnäytetyön tuloksena syntyneet työohjeet tullaan testaamaan työmaan käytössä runkotyön yhteydessä. Alkuperäinen tarkoitus oli, että testauksen tulokset oltaisiin saatu esille tähän työhön, mutta työmaan aikataulun vuoksi ei testaus ehdi mukaan.

Työohjeiden testausmalli tulee olemaan samanlainen kuin vastaavanlaisessa projektityössä (Rivitalon radonsuojaus ja työohjeen teko maanvaraisessa laatassa). Projektityössä oliin kehitetty työohjeet radon-suojauksesta. Ohjeita testattiin työmaalla työn edetessä, käymällä läpi kaikki vaiheet työohjeesta. Ennen töiden aloittamista ohjeet käytiin läpi yhdessä aliurakoitsijan kanssa, joka työn suorittaa. Jo ennen työn aloitusta keskusteltiin mahdollisista hankalista toteutuskohdista. Tässä vaiheessa myös työohjeiden hyödyt alkoivat hahmottua paremmin. Seuraavaksi siirryttiin työmaalle suorittamaan työtä. Huomattiin, että varsinkin aliurakoitsijoilla on omat tapansa suorittaa tietyt vaiheet, joita on hankala saada muutettua. Arvioitiin parhaat tavat ja ne kirjattiin lopulliseen työohjeeseen.

Työohjeet osoittautuivat pääosin toimiviksi, lukuun ottamatta pieniä muutoksia. Tämän opinnäytetyön ohjeet tullaan testaamaan samanlaisella tavalla kuin kyseisen projektityön. Testausmenetelmän avulla huomattiin työohjeiden virheet ja ne voitiin parantaa parhaaseen mahdolliseen muotoonsa.

5 Tutkimustulos

Tämän työn tavoitteena oli luoda NCC Rakennus Oy:lle työohjeet puurakenteisen rivitalon runkotyöstä. Kehitettiin työohjeet, joiden tarkkuustaso on huomattavasti aikaisempaa suurempi. Tarkalla yksittäisen työvaiheen panostuksella pystytään kiinnittämään enemmän huomiota mahdollisiin ongelmakohtiin ja työn laadusta voidaan olla varmempia. Ennakkosuunnittelu alalla kasvaa ja tämä työ on yksi keino lisätä siihen.

Työ aloitettiin keräämällä tietoa kirjallisuuden ja Internetin avulla puurakentamisesta. Esimerkkikohteesta kerättiin tietoa työnjohtajien haastatteluilla. Haastatteluista varten ei tehty valmista haastattelupohjaa vaan tarpeellinen tieto saatiin yleisesti keskustelemalla. Työohjeet haluttiin tehdä mahdollisimman tarkoiksi ja työmaan käyttöön hyvin soveltuviksi. Työohjeista haluttiin tehdä yleispätevät, jotta niitä voitaisiin käyttää myös muissa samankaltaisissa kohteissa. Lisäksi työn tavoitteena oli koota työohjeet yhteen prosessikaavioon, josta käy ilmi koko runkotyövaiheen osat.

Tuloksena syntyivät työohjeet runkoelementistä, välipohjasta, vesikattorakenteista sekä väliseinistä. Lisäksi syntyivät ohjeet rakenteiden liittymäkohdista, runkoseinäelementin ja sokkelin liitoksesta, runkoseinäelementin ja väliseinän liitoksesta sekä väliseinän ja sokkelin liitoskohdasta. Valmiit työohjeet löytyvät työstä liitteinä 6-12. Valmiit työohjeet ovat selkeässä ja tehokkaassa muodossa, jolloin niitä on mahdollisimman helppo käyttää työmaalla. Yksisivuinen kokonaisuus säästää turhaa paperimäärää ja on helposti luettavissa.

Kaikki työohjeet koottiin vielä yhteen prosessikaavioon muotoon. Kaaviosta nähdään selkeästi kaikki rungon vaiheet yksinkertaisessa muodossa ja sitä voidaan käyttää käytäessä läpi tulevaa kokonaisuutta. Kaavio on erinomainen työkalu myös muussa opetustarkoituksessa. Prosessikaavio tullaan sijoittamaan vielä Power-Point-muotoon, johon on helppo linkittää kunkin työvaiheen työohje.

Testaus tulee osoittamaan varmasti ohjeissa pieniä muutostarpeita ja käytännön kokeilun kautta työvaiheiden toteutus tulee vielä entisestään tehostumaan. Vaikka testausta ei päästy suorittamaan tämän opinnäytetyön ajan puitteissa, projektityön testauksen perusteella voidaan sanoa, että työohjeiden malli on toimiva.

Jatkokehityksessä tulee tarkastella työohjeiden työsuoritus-osion toimivuutta ja pyrkiä löytämään kaikkein tehokkaimmat työtavat. Tulevaisuudessa toteutustavat tulevat varmasti kehittymään ja työohjeita tulee kehittää myös sen mukaan. Ohjeiden päivittäminen käy helposti valmiiseen pohjaan. Työohjeissa olevat tämänhetkiset kuvat tul- laan päivittämään tulevaisuudessa paremmiksi ja toimivin vaihto löytyy kokeilun myötä. Työohjeita tulisi kehittämistä yleishyödyllisempään muotoon, mutta rakennusalan haas- tavuus asettaa sille esteen. Jokainen työkohde on omalaatuinen, eikä tismalleen sa- manlaista kohdetta löydy. Tämän vuoksi kohteesta toiseen toimivaa työohjetta on han- kala tehdä, vaan työohjeita täytyy päivittää aina kohdekohtaisesti.

Työohjeita tulisi testata useiden työmaiden käytössä ja kerätä kokemuksista palautetta. Paperityön lisääntyminen saattaa ahdistaa tietyssä määrin ja tämän vuoksi ohjeiden käyttö tulisi perustella työnjohdolle hyvin. Työohjetta testaamalla työnjohto huomaa itse niiden käytännöllisyyden työnsuunnittelun työkaluna.

Tulevaisuudessa työvaiheet voidaan suunnitella todella tarkasti ennen varsinaista to- teutusta. Rakennusalan kehittyminen on ollut hidasta, vaikka uusia tapoja ja menetel- miä kehitetään koko ajan. Tämä työ auttaa omalta osaltaan työkokonaisuuden tar- kemmassa ennakkoinnissa ja suunnittelussa.

Lähteet

- 1 Puurakentaminen, Rakennustieto 2008.
- 2 Rakennuksen puutyöt, Rakennustieto 2009.
- 3 Työnjohtaja Janne Taskisen haastattelu 25.01.2011 NCC Rakennus Oy.
- 4 Puutalon runkotyöt, Rakentajan tietokirjat 2006.
- 5 NCC Rakennus Oy:n sisäinen toimintajärjestelmä [viitattu 12.03.2011].
- 6 Valokuva - arkisto. Työmaainsinööri Mikko Mäkelä.
- 7 Teollinen puurakentaminen, Rakennustieto 1995.
- 8 Rakentaja.fi [Internet-sivut], [viitattu 23.03.2011] saatavissa:
http://www.rakentaja.fi/index.asp?s=/seurantakohteet/Kastelli_Koskenkorva/1105kastelli_koskenkorva.htm
- 9 Emos [Internet-sivut], [viitattu 22.03.2011] saatavissa:
<http://www.emos.fi/matalaenergiatalo.php>
- 10 Jokiaho [Internet-sivut], [viitattu 27.04.2011] saatavissa:
<http://www.jokiaho.fi/moderna/>
- 11 Suomela [Internet-sivut] 2011, [viitattu 06.04.2011] saatavissa:
<http://www.suomela.fi/image.ashx?guid=c99483e1-9fc5-40f5-a4c9-8b43a6df0e0e&format=12>
- 12 Taloon.com [Internet-sivut] 2007, [viitattu 11.04.2011] saatavissa:
http://www.taloon.com/ap/nelikko_nousee.php
- 13 Teollinen puurakentaminen, Rakennustieto 1995.
- 14 Työnjohtaja Pekka Koivun haastattelu 01.02.2011 NCC Rakennus Oy.
- 15 RT-kortti, Lämmöneristystarvikkeet 36–10689, *Mineraalivillaeristeet*, 1999.
- 16 RT-kortti, Lämmöneristystarvikkeet 36–10661, *Puukuitueristeet*, 1998.
- 17 Suomen Selluvilla-eriste Oy [Internet-sivut] 2011, [viitattu 24.03.2011] saatavissa: <http://www.selluvilla.net/?cat=13>
- 18 Rakentaja.fi [Internet-sivut], [viitattu 23.03.2011] saatavissa:
<http://www.rakentaja.fi/index.asp?s=/tv/tvtulostus.asp?id=202>
- 19 Rakentaja [Internet-sivut] 2011, [viitattu 09.04.2011] saatavissa:
http://www.rakentaja.fi/kuvat/esitykset/1228/633034932_200962105636.jpg

- 20 Suomen metsäsäätiö [Internet-sivut] 2011, [viitattu 14.04.2011] saatavissa: <http://www.metsasaatio.fi/varojen-kaytto/puun-kaytto-ja-puurakentaminen/piano-paviljonki>
- 21 RT-kortti, Runkorakenteet 82–10804, *Avoim puurakennusjärjestelmä*, 2003

